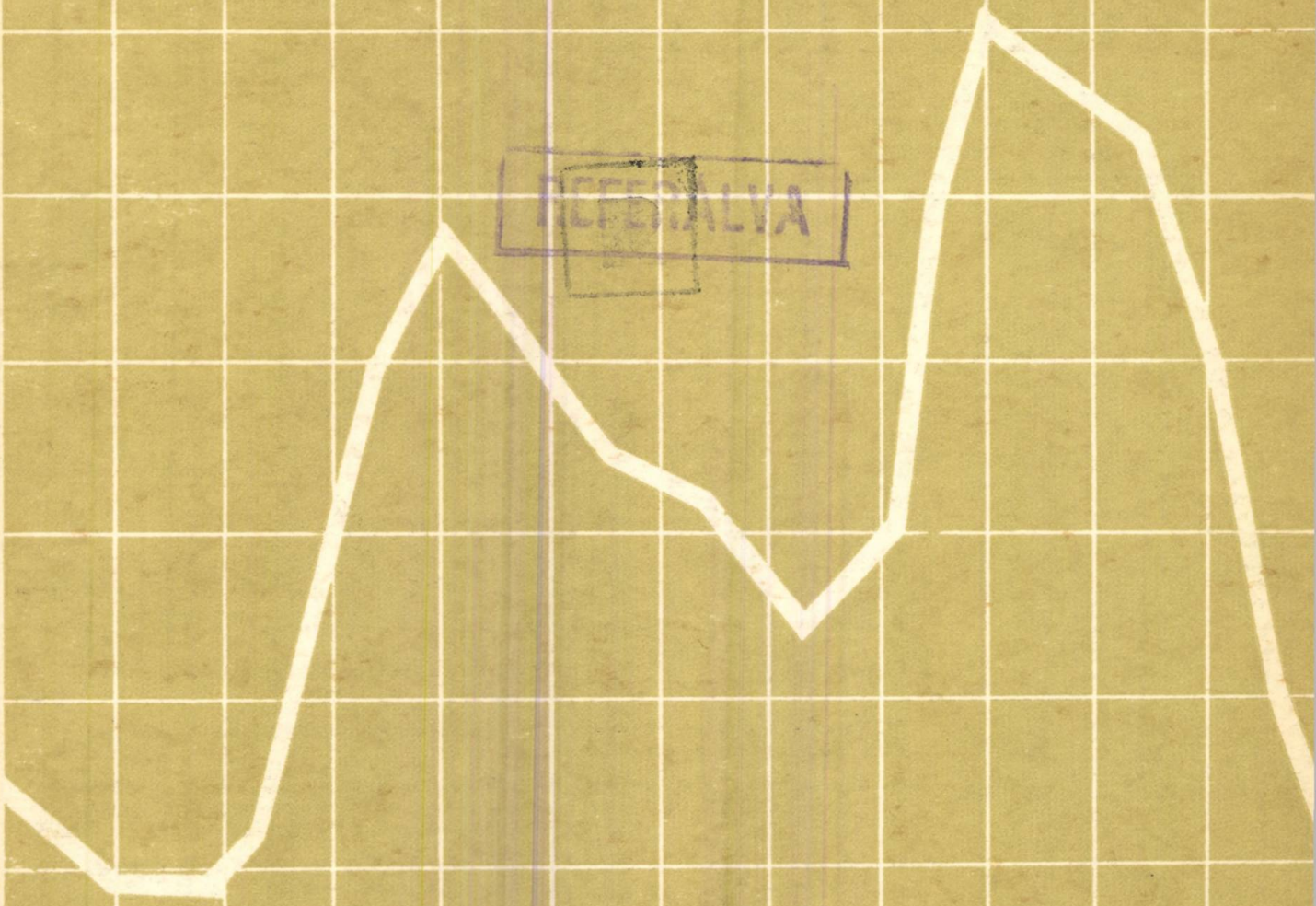
E 2039

MW

1

REFERATIVA



VOLUMUL XXVI
BUCUREŞTI IANUARIE 1978

energetica

0 6 12 18 2

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE
ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 1 ianuarie

Cuprinsul

		Pag.
Tr. Cocârlă	**Revista „Energetica" la un sfert de veac**	1 – 2
C. Cazacu şi col.	**Complexul de cercetări pentru realizarea cazanului de abur de 520 tf/h pentru şisturi bituminoase**	3 – 6
N. Stan, V. Mușatescu şi *M. Stan*	**Dimensionarea optimă a lanţurilor de schimbătoare de căldură din industrie**	6 – 9
R. Dimitriu	**Metodă statistico-grafică pentru determinarea rapidităţii specifice şi a turaţiei sincrone la hidroagregatele echipate cu turbine elicoidale, semi-Kaplan, Kaplan, bulb şi bulb-reversibil**	9 – 12
Fl. Predan şi *D. Caratvan*	**Evaluarea consumurilor proprii tehnologice din conductoarele de protecţie ale liniilor electrice aeriene**	12 – 18
Gh. Ctrţină şi *V. Alexandrescu*	**Asupra funcţionării surselor de putere reactivă statice şi reglabile cu tiristoare**	19 – 23
P. Dinculescu şi *M. Popescu*	**Tendinţe actuale în evoluţia surselor de lumină în contextul politicii de economisire a energiei electrice**	23 – 29
A. Măcriş şi *H. M. Tănase*	**Influenţa preasamblării furniturii termomecanice asupra eficienţei lucrărilor de montaj**	29 – 36
DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI		
C. Morţun	**Electrificarea judeţului Sibiu**	36 – 39
RECENZII		
CUPRINSUL REVISTEI „ENERGETICA" VOL. 25 (1977)		

**Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice**

„Revista Energetica" la un sfert de veac

Trandafir Cocârlă,
ministrul energiei electrice

De la apariția primului număr al revistei „Energetica", în ianuarie 1953, a trecut un sfert de veac. Acești 25 de ani au marcat o dezvoltare impetuoasă, continuă și armonioasă a tuturor ramurilor economiei naționale, dezvoltare sprijinită de producerea unor cantități din ce în ce mai mari de energie electrică și termică. Nici un domeniu al tehnicii contemporane nu se poate lipsi de aceste forme de energie, componente ale oricăror activități, și nici dezvoltarea [illegible]ății nu se poate realiza fără un consum în creștere de energie.

Pornind de la o producție de 1130 GWh energie electrică și un consum brut pe locuitor de 72,4 kWh în anul 1938 — anul de vîrf economic al vechii Românii —, producția de energie electrică a atins în 1977 59 790 GWh, adică 2773 kWh pe locuitor.

Saltul important înregistrat de energetica românească, sub conducerea înțeleaptă a Partidului Comunist Român, s-a făcut pe baza unor planuri de perspectivă fundamentate științific în ceea ce privește concepția, ritmul și realizările acestei importante ramuri a economiei naționale românești.

Pentru a asigura dezvoltarea energeticii din țara noastră a fost necesară rezolvarea numeroaselor probleme tehnice, economice și organizatorice ale activității sectorului. Printre măsurile luate a fost și aceea de a organiza dezbaterea științifică cu tematică energetică cu ajutorul unui organ de presă și de a pune la îndemîna specialiștilor o revistă de specialitate, care să reflecte în paginile sale mersul ascendent al energeticii românești.

În acest scop, în 1953 s-a hotărît divizarea revistei „Electricitatea" — care între 1950 și 1952 trata probleme de energetică și electrotehnică — în două reviste de specialitate: „Energetica" și „Electrotehnica".

Noua revistă „Energetica", organ al Ministerului Energiei Electrice și a Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din România, și-a propus să contribuie la formarea unei concepții energetice moderne, în vederea rezolvării problemelor energetice specifice țării noastre.

În decursul unui sfert de veac, „Energetica" a apărut în 300 de numere, cu un total de aproape 15 000 pagini, fiind nu numai un organ de informare la zi și de conștiincios schimb de experiență în domeniul energiei, ci a intervenit ca un puternic instrument de propagare a directivelor de partid și de stat și a priorităților energetice hotărîte de Ministerul Energiei Electrice, care pune în practică concepția politicii energetice elaborate de Partidul Comunist Român.

Totodată „Energetica" a fost un cronicar fidel și entuziast al celor mai caracteristice etape ale construcției socialismului în țara noastră, prin prezentarea în paginile sale a diferitelor realizări mai importante ale energeticii din România, cum au fost: desfășurarea și încheierea cu succes a primei etape de zece ani a planului de electrificare a țării, ca și a etapelor următoare de cîte cinci ani, punerea în funcțiune a principalelor obiective energetice etc.

Astăzi, după cum este cunoscut, energetica românească are sarcini deosebite. În 1990 trebuie să se realizeze o producție de energie electrică de circa 130 miliarde kWh, adică peste 5200 kWh/locuitor; creșterea producției de energie electrică se va asigura în prima etapă de perspectivă în principal pe bază de cărbuni. Astfel, în perioada cincinalului 1976—1980 se prevede punerea în funcțiune a unei puteri nou instalate de peste 6000 MW, din care peste 4000 MW în centrale termoelectrice, cu agregate de mare putere, marea majoritate pe cărbuni.

Aceste obiective importante ale energeticii românești se vor reflecta, sub diferite aspecte științifice și tehnice, în paginile revistei „Energetica". Ca urmare, colectivul redacțional al revistei trebuie să-și concentreze eforturile pentru a contribui prin propagarea tehnologiilor avansate la un schimb mai intens al experienței înaintate. Dacă acești 25 de ani de activitate susținută a revistei au fost ani de acumulări cantitative, anul 1978 trebuie să marcheze și preocupări importante privind calitatea, așa cum ne-o cere secretarul general al partidului, care, în cadrul lucrărilor Conferinței Naționale a P.C.R., a arătat că „a venit timpul să transformăm cantitatea într-o nouă calitate". Numai printr-o calitate deosebită a activității în toate domeniile energetice, ca și cel al literaturii tehnice, se poate asigura sarcina care îi revine Ministerului Energiei Electrice de a pune la dispoziția tuturor ramurilor economiei naționale energia necesară pentru desfășurarea activității lor. Fiabilitatea instalațiilor energetice și gospodărirea eficientă a resurselor energetice și în ramura energiei electrice constituie chezășia succesului activității lucrătorilor sectorului energetic din țara noastră.

Colectivul redacțional al revistei trebuie să contribuie cu toată capacitatea sa creatoare la ridicarea calității conținutului revistei „Energetica" pe o treaptă superioară. În acest scop, tematica revistei trebuie să reflecte cu prioritate preocupările majore ale sectorului energetic, care privesc:

— creșterea eficienței economice în activitatea de producere a energiei electrice și termice prin reducerea consumurilor specifice de combustibili;

— realizarea ritmului de dezvoltare economică cu un consum mai mic de energie electrică și termică, prin utilizarea mai rațională a energiei;

— folosirea unor noi surse de energie, ca: energia solară, eoliană, geotermică etc.;

— asigurarea unui ritm mai înalt în valorificarea resurselor sărace (lignit, șisturi bituminoase);

— utilizarea energiei nucleare;

— amenajarea accelerată a potențialului hidroenergetic al țării;

— creșterea siguranței în funcționare a instalațiilor sistemului energetic național.

* * *

Cu această ocazie felicit colectivul redacțional și colectivul de lucrători care au asigurat și asigură apariția revistei, pentru activitatea depusă în acest sfert de veac, știind că sarcinile care le stau în față sînt mai dificile și necesită un efort mai susținut, în raport direct cu sarcinile actuale ale energeticii.

Complexul de cercetări pentru realizarea cazanului de abur de 520 tf/h pentru șisturi bituminoase

Colectivul de cercetare din ICPET:

C. Cazacu, D. Bîcleşeanu, C. Crăciuneanu, Al. Paveleţ, D. Chiriţă, P. Pitulice, H. Siman, Il. Bădică, D. Luca Vasiliu, V. Nanu, G. Georgescu, N. Manea, V. Nicolau

Importantele rezerve de şisturi bituminoase existente în ţară au determinat elaborarea unui program complex de valorificare, în cadrul căruia direcţia principală a fost axată pe utilizarea lor în agregate energetice de mare putere. Acest combustibil solid inferior, răspîndit pe întreaga suprafaţă a globului, este caracterizat printr-o mare diversitate a proprietăţilor chimice şi energetice, fiind constituit, în general, din roci sedimentare cu conţinut de materii organice sub formă de hidrocarburi. Şisturile bituminoase din România se caracterizează printr-un procent ridicat de cenuşă, 70 — 82%, avînd proprietăţi puternic erozive, o umiditate relativ scăzută, 8 — 10%, şi o putere calorifică redusă, de 900 — 1100 kcal/kg.

Preocupările pentru valorificarea acestui combustibil datează încă din secolul trecut, fiind menţionată construirea unei distilării de uleiuri din şisturi bituminoase, care a funcţionat în zona Anina în perioada 1854—1883.

Dezvoltarea deosebită a economiei energetice în anii construirii socialismului a impus atragerea în circuitul energetic a tuturor resurselor existente.

Primele experimentări de ardere a şisturilor bituminoase datează din anul 1964, cînd IRME a efectuat încercări pe un cazan din cadrul CTE Ovidiu. Ulterior, ICENERG a continuat această acţiune la un cazan din CTE Doiceşti. Aceste prime experimentări au demonstrat viabilitatea valorificării acestui combustibil solid inferior prin ardere în cazane energetice şi au scos în evidenţă problemele pe care le ridică acest combustibil.

Caracteristicile energetice ale acestor şisturi bituminoase, faţă de ceilalţi combustibili solizi care se ard în prezent în centralele electrice clasice, au impus însă abordarea unui program complex de cercetări şi studii pentru realizarea cazanului de abur, echipament de bază al viitoarei centrale termoelectrice care va utiliza acest combustibil, program coordonat de Institutul de cercetări şi proiectări echipamente termoenergetice, la care au colaborat ICEMENERG şi Institutul politehnic Bucureşti — Catedra de cazane şi turbine şi Catedra de centrale electrice.

Aceste lucrări au continuat cercetările anterioare şi au urmărit cunoaşterea aspectelor specifice pe care le ridică pregătirea pentru arderea propriu-zisă a şisturilor bituminoase, rezolvarea desprăfuirii gazelor de ardere în condiţiile unei concentraţii ridicate, evitarea eroziunii suprafeţelor de încălzire ale cazanului şi a uzurii elementelor de măcinare ş.a.

1. **Cercetările privind arderea** au avut ca obiect determinarea principalilor parametri ai procesului de ardere, soluţia optimă de arzător, stabilirea aportului minim de combustibil superior. Experimentările s-au efectuat pe un cazan de abur de 100 tf/h şi pe modele pe standuri.

Cazanul de abur, adoptat în prealabil pentru experimentări, are parametrii 100 tf/h, 57 kgf/cm², 480°C, $q_v = 98{,}7 \times 10^3$ kcal/m³.h (pentru lignit de 1500 kcal/kg), grad de ecranare a focarului 0,83. Instalaţia de preparare şi ardere a prafului de cărbune cuprinde 4 mori cu ciocane, arzătoare de praf amplasate în colţurile focarului, arzătoare de păcură amplasate cîte două pe pereţii laterali ai focarului. S-au experimentat două tipuri de arzătoare, tip fantă cu trei canale pentru aer primar şi praf şi orificii pentru aer secundar şi arzător tip rabatabil cu două canale pentru praf.

Experimentările au cuprins probe de ardere cu şisturi bituminoase, avînd ca analiză medie: $Q_i = 900-1200$ kcal/kg, $W_t = 7-14\%$, $A_i = 60-70\%$, $S_i = 0{,}7\%$, SiO_2 în cenuşă 40—60% şi două probe cu lignit de Rovinari cu $Q_i = 1650$ kcal/kg, $W_t = 45\%$, $A_i = 22\%$. Fineţea de măcinare a prafului a variat între $R_{90} = 22\%$ şi 42%, funcţie de presiunea la ieşirea din moară.

În condiţiile aportului caloric minim de păcură, care pentru debitele de abur de 80—100 tf/h s-a situat la 13—15%, arzătoarele tip fantă au realizat o mai bună stabilitate a procesului de ardere, viteza amestecului aer-praf la ieşirea din arzător fiind mai ridicată ca la lignit (aerul necesar arderii a fost utilizat integral ca aer de transport). Flăcările se dezvoltă din apropierea arzătorului, fiind apoi concentrate în turbionul central, dezvoltat pe o înălţime relativ redusă.

Arderea lignitului s-a caracterizat printr-o umplere bună a focarului, realizîndu-se debitul nominal de abur fără aport caloric de păcură sau gaze naturale şi în condiţiile unei bune stabilităţi a arderii.

Temperaturile gazelor de ardere în focar au atins valori maxime de circa 1100°C, fiind mai reduse ca la lignit. Curbele de variaţie a temperaturii pe înălţimea focarului evidenţiază o mai bună umplere a focarului la arzătoarele tip fantă (valori maxime la cota 11 m), ca urmare a divizării jetului de praf, viteze de

amestec mari etc. și influența aerului secundar asupra vitezei de ardere (curbele sînt aplatisate și au valori maxime la cote inferioare).

Prelevările de cenușă în focar și la coș au permis calculul pierderilor de căldură prin ardere mecanic incompletă pentru determinarea randamentului. La debitul nominal al cazanului, arderea se desfășoară corespunzător, realizîndu-se valori ale pierderilor mecanice cu 3 — 4 procente mai mari față de lignitul de Rovinari. Pentru regimuri cu debite mai reduse (funcționare cu 3 mori) valorile q_4 au fost mai mari.

Analiza nearselor în focar la diferite cote a arătat o desfășurare mai intensă a procesului de ardere pe o înălțime relativ redusă (1/2 din înălțimea focarului), după care arderea se desfășoară lent.

Măsurători și calcule speciale au permis determinarea încărcării termice medii a suprafețelor focarului, care a fost cu circa 50% mai redusă față de lignit pentru debitul nominal și pentru un aport caloric minim.

Încărcările termice volumetrice au avut valori apropiate pentru cei doi combustibili încercați, fiind superioare valorii de proiect a cazanului pe care s-au efectuat încercările.

În afara determinării unor parametri ai procesului de ardere și ai focarului, experimentarea arderii șisturilor pe un cazan de 100 tf/h a arătat posibilitatea utilizării acestui combustibil în cazane mari energetice, lucru realizat prin arderea a peste 22 000 tone șisturi pe parcursul a circa 400 ore de exploatare curentă fără diminuarea siguranței în funcționare a cazanului.

Pentru stabilirea parametrilor arzătorului cu fante a fost construit un model geometric pe care s-au determinat experimental intersecțiile optime ale jeturilor în scopul realizării unei concentrații uniforme cît mai apropiate de gura arzătorului. Metoda de modelare utilizată are în vedere că legile amestecării în regim turbulent se exprimă prin aceleași sisteme de ecuații pentru procesele termice ca și pentru cele masice de amestecare (se neglijează difuzia moleculară în raport cu difuzia turbulentă). Aceasta reduce problema la măsurarea cîmpului de temperaturi în zonele din fața arzătorului, care va fi analog cu cîmpul de concentrații ce caracterizează procesul de amestec.

În cazul modelului de arzător cu fante, amestecul aer primar-praf a fost modelat cu aer preîncălzit, iar aerul secundar a fost introdus ca fluid rece. Realizînd raporturi diferite între vitezele amestecului aer primar-praf și vitezele aerului secundar superior, inferior și intermediar, s-au obținut valorile optime ale acestor jeturi, care asigură o concentrație uniformă (amestecare) la o distanță relativ redusă de gura arzătorului.

Studiul procesului de circulație a gazelor de ardere prin focarul cazanului s-a realizat prin modelarea bidimensională și tridimensională. Modelarea hidraulică bidimensională a pus în evidență aspectul de curgere a fluidului la nivelul primului rînd de arzătoare, precum și modificarea aspectului curgerii la funcționarea cu un număr redus de arzătoare. Examinarea spectrelor materializate prin fotografiere a permis recomandarea schemelor optime de funcționare cu un număr redus de arzătoare.

Prin modelarea aerodinamică tridimensională s-a determinat gradul de uniformitate a repartizării vitezelor în secțiunea de ieșire din focar, ceea ce a condus la determinarea izotermelor în secțiunea amintită.

Rezultatele obținute în urma modelării bidimensionale și tridimensionale au arătat că forma și dimensiunile focarului cazanului de 520 tf/h proiectat pentru șisturi bituminoase, precum și modul de amplasare a arzătoarelor vor asigura o umplere bună a focarului, o curgere simetrică în raport cu pereții (cu excepția unor scheme de funcționare cu trei arzătoare, care creează disimetrii), precum și o distribuție uniformă a vitezelor în secțiunea de ieșire din focar.

Pentru verificarea modului de aprindere și de ardere a norului de particule de șisturi bituminoase, s-au efectuat probe de ardere într-un focar experimental vertical. Arzătorul de tip fante a fost montat pe vatra focarului cu jeturile pe direcție verticală. Studiul aprinderii efectuat pe acest focar a arătat că particulele de șisturi se aprind mai ușor decît cele de ligniți. Pierderile de căldură prin ardere mecanic incompletă la ieșirea din focar au avut valori reduse.

2. **Cercetările privind măcinarea** efectuate pe diferite modele de mori au urmărit atît problemele de uzură cît și parametrii procesului de măcinare.

Experimentările pentru determinarea uzurii s-au efectuat pe mori cu ciocane și pe mori-ventilator cu și fără ciocane pe aspirație și au cuprins un volum important de încercări. Ele au urmărit determinarea uzurilor pe trei sorturi caracterizate prin intervale granulometrice 0—300 mm, 0 — 200 mm și 0 — 100 mm în scopul stabilirii sortului optim, precum și influența compoziției cenușii din șist asupra uzurii. Rezultatele obținute au arătat o reducere a uzurii pe măsura descreșterii intervalului granulometric. Valorile apropiate la ultimele două sorturi au determinat alegerea ca sort optim 0—200 mm. Aceasta se datorează eliminării prin sortare a fracțiilor dure, în special siderita compactă. Din punct de vedere al uzurii, procentul de cuarț nu a determinat diferențieri între sorturi, siliciul liber fiind foarte fin și omogen dispersat în masa șistu-

lui. Prin încercările efectuate s-a putut determina influența elementelor dure din șist (siderita, Fe_2O_3 și siliciul liber) asupra uzurii, stabilindu-se cu această ocazie limitele maxime întîlnite în loturile reprezentative de șisturi supuse măcinării.

Încercările comparative efectuate pe același tip de moară cu lignit și șist au arătat că uzurile specifice (g/t) la lignitul din bazinul Muntenia și la șistul cu clasele granulometrice 0—200 mm și 0—100 mm sînt apropiate.

La sortul 0—300 mm, uzurile sînt cu circa 30% mai mari ca la lignit, iar la șisturi nesortate uzurile pot fi cu 50—80% mai ridicate.

Evidențierea influenței deosebite a conținutului de Fe_2O_3 din șist, respectiv a sideritei asupra uzurii, justifică tehnico-economic sortarea șisturilor la un interval granulometric optim și implică responsabilități importante în livrarea de șisturi către centrală, pentru a nu se depăși valorile maxime de Fe_2O_3, siderită și siliciu liber întîlnite în loturile reprezentative utilizate la încercările de uzură.

Încercările de măcinare au fost efectuate pe modele reduse de mori, ca și pe mori industriale, relevînd o foarte bună măcinare a șisturilor bituminoase în morile cu impact. Rezistența mai redusă la măcinare este reflectată prin valorile mai ridicate ale coeficientului de măcinabilitate cu circa 40—70% față de lignitul din bazinul Rovinari.

Aceste caracteristici de friabilitate, deosebit de favorabile în procesul de măcinare, au determinat creșterea productivității morilor cu 30—40% față de încercările pe lignit, în aceleași condiții de finețe a prafului, fără a se semnala fenomene de înfundare în modelele de mori și pe morile industriale încercate. Granulația prafului realizată pe mori cu ciocane a fost caracterizată prin $R_{90} = 40-45\%$, iar pe mori-ventilator cu ciocane pe aspirație, finețea s-a situat la valori R_{90} mai reduse; energia specifică de măcinare realizată a fost sub valorile întîlnite la lignit.

În afara încercărilor de măcinare, s-au efectuat experimentări pe model pentru determinarea parametrilor procesului de transport pneumatic al prafului de combustibil de la separatorul morii pînă în focar și distribuția acestui praf în fantele arzătorului. Obiectul acestor încercări, care pot fi efectuate numai pe model, îl reprezintă, în principal, stabilirea limitei de înfundare a instalației de transport, coeficienții de pierderi de presiune pe tubulatura verticală și orizontală la diverse concentrații de praf și viteze ale fluidului transportat.

Din încercările preliminare efectuate pe instalația experimentală s-au putut determina vitezele limită pe conducta orizontală la care a apărut fenomenul de depunere a particulelor de șist. Pe conducta verticală nu s-a observat apariția fenomenului de depunere la viteze uzuale întîlnite în astfel de construcții.

Din probele efectuate pe modelul instalației de transport, au rezultat de asemenea și valorile preliminare ale coeficienților de frecare, atît cu diverse concentrații de praf, cît și fără praf.

3. **Cercetările privind transferul de căldură** au fost efectuate pe cazanul de 100 tf/h, experimentările urmărind evidențierea influenței conținutului ridicat de cenușă în gazele de ardere asupra transferului de căldură în suprafețele convective ale cazanului; s-au efectuat probe comparative cu șisturi bituminoase și lignit, combustibili cu conținuturi mult diferite de cenușă. Concomitent s-au efectuat o serie de măsurători în scopul determinării variației temperaturii gazelor de ardere într-o secțiune transversală a focarului.

Valoarea coeficientului global de transfer de căldură în supraîncălzitor, la funcționarea cu șisturi bituminoase, a fost cu circa 30% mai mare față de valoarea corespunzătoare obținută la arderea lignitului, concentrația cenușii în cazul șisturilor fiind de 6 ori mai mare.

Măsurătorile efectuate cu termocuple cu aspirație au determinat valorile temperaturii gazelor de ardere într-o secțiune a focarului, rezultînd diferențe mari de temperaturi între zona centrală și peretele focarului.

S-au stabilit de asemenea, pe baza măsurătorilor efectuate, coeficienții de murdărire a suprafeței supraîncălzitorului, fiind situați în apropierea valorilor recomandate de literatura de specialitate.

4. **Cercetările de eroziune** a suprafețelor schimbătoare de căldură din cazan, ca urmare a conținutului ridicat de cenușă din șisturile bituminoase și a caracterului abraziv, au comportat un volum mare de încercări pe stand. Experimentările au urmărit în principal determinarea coeficientului de abrazivitate al cenușii rezultate din arderea șisturilor, influența vitezei fluidului, a concentrației prafului și a elementelor geometrice ale pachetului de țevi. Rezultatele experimentale au fost trasate prin curbe de variație ale vitezei gazelor de ardere în funcție de timp pentru primul și al doilea rînd de țevi de la supraîncălzitor și economizor, comparativ pe șisturi și pe lignit. Aceste curbe permit alegerea unor viteze optime ale gazelor de ardere, pentru a se asigura o funcționare de lungă durată a cazanului, în condițiile concentrațiilor de cenușă existente pe cazan și admiterii unei uzuri limitate de calculul de rezistență a țevilor.

Vitezele optime în cazul șisturilor românești, caracterizate printr-o anumită abrazivitate, au fost limitate la valori sub 8 m/s, funcție de amplasarea pachetului de țevi. Întrucît primul

rînd de țevi au uzuri de circa 4 ori mai mari decît cele de pe rîndul al doilea, s-a recomandat utilizarea de protecții metalice la intrarea în fiecare pachet convectiv.

Experimentările pe stand au evidențiat și alte aspecte ale procesului de eroziune specifice cenușii de șist, ca, de exemplu, zonele maxime de eroziune pe circumferința țevii, evoluția uzurii în timp ș.a.

Programul de cercetări efectuate pentru furnizarea de date necesare proiectării cazanului de 520 tf/h pentru șisturi bituminoase a cuprins o tematică largă, abordînd diferite aspecte, de la experimentări de ardere pe un cazan de mare capacitate pînă la modelări de focare și arzătoare.

Paralel cu aceste cercetări au fost elaborate un mare număr de studii de către colectivele de proiectare, abordînd o gamă largă de probleme tehnice, determinate de caracteristicile deosebite ale acestui combustibil.

Analizînd cu responsabilitate abordarea realizării unui asemenea obiectiv și efectuînd un volum important de cercetări și studii tehnice, colectivul de cercetători și proiectanți din ICPET a elaborat documentațiile de execuție ale cazanului de 520 t/h pentru arderea șisturilor bituminoase, care materializează și valorifică astfel o complexă activitate științifică și tehnică.

(Articol intrat în redacție la 11 noiembrie 1977)

Dimensionarea optimă a lanțurilor de schimbătoare de căldură din industrie

Ing. N. Stan,
Ing. V. Mușateseu,
Ing. M. Stan*)

Procesele tehnologice din industrie cer adesea ca fluidele să fie răcite sau încălzite prin trecerea lor printr-un lanț de schimbătoare de căldură.

Avînd în vedere larga răspîndire a sistemelor de schimbătoare de căldură, apare ca interesantă determinarea atît a temperaturilor intermediare optime ale fluidului de lucru, cît și a suprafeței fiecărui schimbător din lanț, astfel încît cheltuielile de calcul cu schimbătoarele să fie minime.

În cazul general, cheltuielile de calcul cu un schimbător de căldură includ :

— costul schimbătorului (proporțional cu suprafața de schimb de căldură la puterea 0,5) ;

— cheltuielile cu energia utilizată pentru circulația fluidelor (care depind de debitele fluidelor, de proprietățile fluidelor și de coeficienții de pierderi de presiune) ;

— pierderile exergetice ale celor două fluide (care sînt funcție de debitele fluidelor și de temperaturile de intrare și de ieșire ale acestora).

Problema enunțată mai sus poate fi rezolvată cu ajutorul principiului maximului discret [1], [2], potrivit căruia se minimizează (maximizează) funcția-obiectiv $\sum_{i=1}^{s} c_i x_i^N$ a unui proces multisecvențial descris de ecuația :

$$x^N = T^n(x^{n-1}, \theta^n),\ n = 1, 2, \ldots, N \qquad (1)$$

cu condițiile :

$$x^0 = M(x^f, x^N), \qquad (2)$$

unde x^f este dat, iar x^N nespecificat, obținîndu-se componentele vectorului decizie θ^n, $n = 1,2,\ldots, N$, care trebuie să satisfacă condițiile :

$$H^n = \sum_{i=1}^{s} z_i^n\ T_i^n(x^{n-1}, \theta^n) = \text{maxim} \qquad (3)$$

sau

$$\frac{\partial H^n}{\partial \theta^n} = 0,\ n = 1, 2, \ldots, N \qquad (4)$$

z și x fiind legate prin relațiile :

$$z^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial x^{n-1}},\ n = 1, 2, \ldots, N \qquad (5)$$

$$z_i^N - \sum_{j=1}^{s} z_j^0 \frac{\partial M_j(x^f, x^N)}{\partial x_i^N} = c_i,\ i = 1, 2, \ldots, S \qquad (6)$$

Pentru un proces unidimensional, hamiltonianul H^n poate fi scris :

$$H^n = z_1^n T(x_1^{n-1}, \theta^n) + G(x_1^{n-1}, \theta^n) + x_2^{n-1} \qquad (7)$$

Introducînd relația (7) în ecuația (4), se obține :

$$\frac{\partial H^n}{\partial \theta^n} = z_1^n \frac{\partial T(x_1^{n-1}, \theta^n)}{\partial \theta^n} + \frac{\partial G(x_1^{n-1}, \theta^n)}{\partial \theta^n} = 0 \qquad (8)$$

*) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic București, Catedra de centrale electrice.

Rezolvînd ecuaţia (8) în funcţie de z_1^n, se obţine :

$$z_1^n = \frac{\partial G(x_1^{n-1}, \theta^n)/\partial \theta^n}{\partial T(x_1^{n-1}, \theta^n)/\partial \theta^n}, \quad n = 1, 2, \ldots, N \quad (9)$$

Înlocuind (9) în (5), rezultă :

$$\frac{\partial G(x_1^{n-1}, \theta^n)}{\partial \theta^n} \Big/ \frac{\partial T(x_1^{n-1}, \theta^n)}{\partial \theta^n} = \frac{\partial G(x_1^n, \theta^{n+1})}{\partial \theta^{n+1}} \Big/ \frac{\partial T(x_1^n, \theta^{n+1})}{\partial \theta^{n+1}} \cdot \frac{\partial T(x_1^n, \theta^{n+1})}{\partial x_1^n} - \frac{\partial G(x_1^n, \theta^{n+1})}{\partial x_1^n} \quad (10)$$

În figura 1 se prezintă un lanţ de schimbătoare de căldură în care fluidul rece intră la temperatura T^0 în primul schimbător şi părăseşte pe ultimul la temperatura T^N. În fiecare schimbător de căldură agentul rece este încălzit de agentul cald, care se presupune că cedează numai căldura de vaporizare.

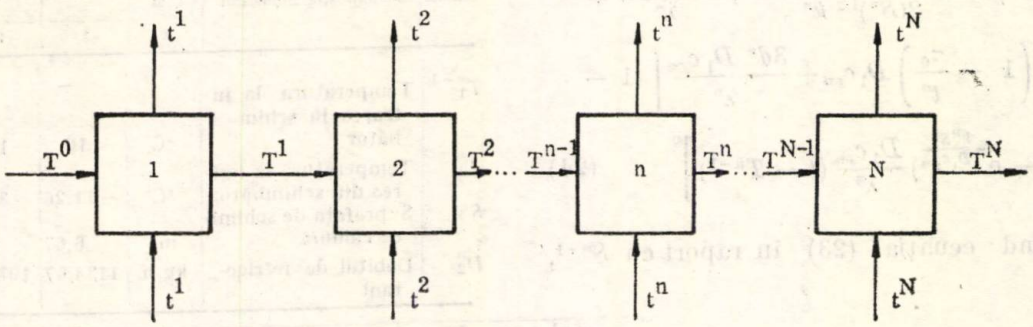


Fig. 1. Lanţul secvenţial de schimbătoare de căldură.

Scriind ecuaţiile de bilanţ termic pentru schimbătorul n, se obţine :

$$Q^n = k^n S^n \Delta t_{med}^n \quad (11)$$

$$Q^n = D_1 c_{p1}^n (T^n - T^{n-1}) \quad (12)$$

$$Q^n = D_2^n \lambda^n \quad (13)$$

Combinînd ecuaţiile (11) şi (12), se obţine relaţia :

$$T^n = T^{n-1} e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}} + \left(1 - \exp\left(-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}\right)\right) t^n, \quad (14)$$

iar din relaţiile (12), (13), (14) rezultă :

$$D_2^n = \frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n} (t^n - T^{n-1}) \left[1 - \exp\left(-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}\right)\right] \quad (15)$$

Cheltuielile cu un singur schimbător sînt considerate ca fiind o funcţie de : suprafaţa de schimb de căldură, debitul de fluid cald, energia de pompare necesară pentru pomparea fluidului cald, pierderile de energie ale celor două fluide

$$P^n = a^n (S^n)^{1/2} + b^n D_2^n + c^n \tilde{a} \Delta E^n + d^n (D_2^n)^3 \quad (16)$$

Problema este de a găsi suprafeţele S^n şi temperaturile intermediare T^n pentru a minimiza cheltuielile totale $\sum_1^N p^n$, cu T_1^0, T_1^N, D_1, t^n, λ^n, $n = 1, 2, \ldots, N$, cunoscute.

Vom reduce problema la forma standard prezentată în [1], [2]. Se introduce o nouă variabilă de stare T_2 care satisface ecuaţia :

$$T_2^n = T_2^{n-1} + P^n, \quad n = 1, 2, \ldots, N \quad (17)$$

$$T_2^0 = 0 \quad (18)$$

Problema se reduce la a minimiza pe T_2^n prin alegerea lui S^n, $n = 1,2,\ldots, N$, pentru un proces descris de ecuaţiile (14), (17), (18) cu următoarele condiţii la limită :

$$T_1^0 = T^0 ; \quad T_1^N = T^N. \quad (19)$$

Înlocuind în ecuaţia (16) $\Delta E = \left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) D_1 c_{pn} (t^n - T^{n-1})$ [2] şi combinînd ecuaţia astfel obţinută cu ecuaţia (15), se obţine :

$$T_2^n = T_2^{n-1} + a^n (S^n)^{1/2} + b^n \frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right) + c^n \tilde{a} \left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) D_1 c_{pn} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right) + d^n \left[\frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right)\right]^3 . \quad (20)$$

Comparînd ecuaţiile (14) şi (20) cu ecuaţiile (1) şi (7), se obţin :

$$T(T^{n-1}, S^n) = T^{n-1} e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}} + t^n \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right) \quad (21)$$

şi

$$G(T^{n-1}, S^n) = a^n (S^n)^{1/2} + \frac{b^n D_1 c_{pn}}{\lambda^n} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right) + c^n \tilde{a} \left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) D_1 c_{pn} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right) + d^n \left[\frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n} (t^n - T^{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}\right)\right]^3 . \quad (22)$$

Efectuînd derivatele parţiale ale ecuaţiilor (21) şi (22) în raport cu T^{n-1} şi S^n şi înlocuindu-le în ecuaţia (10), se obţine următoarea expresie :

$$\frac{a^n c_{pn} D_1 e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}}{2(S^n)^{1/2} k^n} + \frac{b^n c_{pn} D_1}{\lambda^n} + c^n \tilde{a}\left(1-\frac{\tau_0}{t^n}\right) D_1 c_{\gamma n} + \frac{3d^n D_1 c_{pn}}{\lambda^n}\left[(1-e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}) \frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n}(t^n - T^{n-1})\right]^2 =$$

$$= \frac{a^{n+1} c_{pn+1} D_1}{2(S^{n+1})^{1/2} k^{n+1}} + \frac{b^{n+1} D_1 c_{pn+1}}{n+1} + c^{n+1} \tilde{a}\left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) + \frac{3d^{n+1} D_1 c_{\gamma n+1}}{\lambda^{n+1}}. \quad (23)$$

Notînd cu :

$$f(T^{n-1}, S^n) = \frac{a^n c_{pn} D_1 e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}}{2(S^n)^{1/2} k^n} + \frac{b^n c_{pn} D_1}{\lambda^n} + c^n \tilde{a}\left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) D_1 c_{pn} + \frac{3d^n D_1 c_{\gamma n}}{\lambda^n}\left[(1 - e^{-\frac{k^n S^n}{D_1 c_{pn}}}) \frac{D_1 c_{pn}}{\lambda^n}(t - T^{n-1})\right]^2 \quad (24)$$

şi rezolvînd ecuaţia (23) în raport cu S^{n+1}, rezultă :

$$S^{n+1} = \frac{a^{n+1} c_{pn+1} D_1}{2k^{n+1}\left[f(T^{n-1}, S^n) - \frac{b^{n+1} D_1 c_{pn+1}}{\lambda^{n+1}} - c^{n+1}\tilde{a}\left(1 - \frac{\tau_0}{t^n}\right) - \frac{3d^{n+1} D_1 c_{\gamma n+1}}{\lambda^{n+1}}\right]} \quad (25)$$

Cunoscînd toţi parametrii a^n, b^n, c^n, d^n, λ^n, $n = 1,2,\ldots, N$, este uşor de calculat S^{n+1} din ecuaţia (25), dacă S^n este cunoscut. Calculul se poate face iterativ, folosind următorul model :

1. Considerăm o valoare pentru S^1.
2. Deoarece T^0 este dat, poate fi calculat T^1 din ecuaţia (14).
3. Se calculează S^2 din ecuaţia (23).
4. Se repetă calculele de la pct. 2 şi 3 pentru toate secvenţele
5. Dacă T^n calculat este egal cu T^N impus, valorile obţinute pentru S^n, $n = 1,2,\ldots, N$ sînt cele care duc la politica optimă, cea pentru care cheltuielile cu sistemul sînt minime.
6. Dacă T^n calculat nu este egal cu cel impus, se alege o nouă valoare pentru S^1 şi se repetă calculele de la pct. 1 — 5.

Procedura de calcul menţionată mai sus a fost folosită pentru rezolvarea numerică a unui lanţ compus din trei schimbătoare de căldură. Datele de intrare utilizate în calcul sînt date în tabelul 1, iar în tabelul 2 sînt sintetizate rezultatele calculelor obţinute pentru diferite temperaturi la ieşire.

Pentru simplificare c^n şi d^n pentru $n = 1,2,\ldots, N$ au fost considerate nule.

Tabelul 1

Date folosite în calculul unui lanţ de trei schimbătoare de căldură

Simbol	Semnificaţia simbolului	U.M.	Schimbătorul 1	Schimbătorul 2	Schimbătorul 3
t^n	Temperatura refrigerantului	°C	−17,8	−40	−62
λ^n	Căldura latentă a refrigerantului	kJ/kg	232	232	232
k^n	Coeficient global de schimb de căldură	W/m²°C	1136	1136	1136
a^n	Constantă	lei/h.m²	0,33	0,33	0,33
b^n	Constantă	lei/kg	80.10^{-4}	80.10^{-4}	80.10^{-4}

Tabelul 2

Proiectarea optimă a unui lanţ de trei schimbătoare de căldură

1. *Proiectarea optimă pentru* T° = *10°C şi* T³ = −44°C

Simbol	Semnificaţia simbolului	U.M.	Schimbătorul 1	Schimbătorul 2	Schimbătorul 3
T_1^{n-1}	Temperatura la intrarea în schimbător	°C	10	−11,26	−35,45
T_1^n	Temperatura la ieşirea din schimbător	°C	−11,26	−35,45	−44
S^n	Suprafaţa de schimb de căldură	m²	6,67	8,48	1,776
D_2^n	Debitul de refrigerant	kg/h	1133,67	1972,45	699,2

2. *Proiectarea pentru* T° = *10°C şi* T³ = − *61,55°C*

Simbol	Semnificaţia simbolului	U.M.	Schimbătorul 1	Schimbătorul 2	Schimbătorul 3
T_1^{n-1}	Temperatura la intrarea în schimbător	°C	10	−11,577	−32,877
T_1^n	Temperatura la ieşirea din schimbător	°C	−11,577	−32,877	−61,55
S^n	Suprafaţa de schimb de căldură	m²	6,9	6,439	17,388
D_2^n	Debitul de refrigerant	kg/h	1759,587	1736,62	2338,5

Notaţii folosite

T_1^{n-1} — temperatura de intrare a fluidului cald în schimbătorul de căldură n, în °C ;

T_1^n — temperatura de ieşire a fluidului cald din schimbătorul de căldură n, în °C ;

t^n — temperatura refrigerantului din schimbătorul de căldură n, în °C ;

Q^n — debitul de căldură cedat, respectiv primit în schimbătorul n, în W ;

k^n — coeficientul global de schimb de căldură al schimbătorului n, în W/m² · °C ;
S^n — suprafaţa de schimb de căldură a schimbătorului n, în m² ;
Δt^n_{med} — diferenţa medie logaritmică de temperatură a schimbătorului n, în °C ;
D_1 — debitul de fluid cald, în kg/h ;
c_{pn} — căldura specifică a fluidului cald în schimbătorul n, în J/kg °C ;
D_2^n — debitul de fluid rece în schimbătorul n, în kg/h ;
λ^n — căldura latentă a lichidului de răcire, în J/kg ;
P^n — funcţia-obiectiv pentru schimbătorul de căldură n ;
$\tilde{a}$ — factor de echivalenţă putere-lei, în lei/kg ;
ΔE^n — suma pierderilor de exergie pentru fluidul cald şi cel rece în schimbătorul n, în W ;
τ_0 — temperatura de referinţă a mediului ambiant, în °C ;
a^n, b^n, c^n, d^n — factori sau funcţii de proporţionalitate.

Bibliografie

[1] K a t z, S. *A Discrete Version of Pontryagin's Maximum Principle.* În : J. Electron. Contr., 13, 179, 1962.
[2] K a t z, S. *Best Operating Points for Staged Systems.* În : Ind. Eng. Chem. Fundamentals, 1, 226, 1962.

(Articol intrat în redacţie la 27 mai 1977

Metodă statistico-grafică pentru determinarea rapidităţii specifice şi a turaţiei sincrone la hidroagregatele echipate cu turbine elicoidale, semi-Kaplan, Kaplan, bulb şi bulb reversibil

Ing. **R. Dimitriu** *)

Rapiditatea specifică este, după cum se ştie, o cifră caracteristică a turbinelor hidraulice cu acţiune, de tip Pelton şi cu suprapresiune de tip Francis, elicoidale, semi-Kaplan, Kaplan, bulb şi bulb reversibil, pe baza căreia se stabileşte turaţia sincronă a hidrogeneratoarelor electrice din centralele hidroelectrice antrenate de turbine de tipul menţionat. Ea se exprimă prin relaţia :

$$n_s = \frac{n}{H}\sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}} \qquad (1)$$

Alegerea unei rapidităţi corespunzătoare este impusă de necesitatea evitării apariţiei fenomenului de cavitaţie la turbinele cu suprapresiune avînd efecte de corodare a paletelor rotorice.

În formula (1) :
n_s este rapiditatea specifică ;
n — turaţia sincronă a hidroagregatului (funcţionînd la frecvenţa de 50 sau 60 Hz), în ture/min ;
H — căderea de calcul a turbinei, în m ;
P — puterea unitară a turbinei, în CP, la căderea de calcul.

Dacă în formula (1) înlocuim

$$H = 1\,\text{m} \quad \text{şi} \quad P = 1\ \text{CP},$$

se obţine :

$$n_s = n, \qquad (2)$$

ceea ce înseamnă că rapiditatea specifică este turaţia sincronă la care ar funcţiona o anumită turbină de 1 CP la căderea $H = 1$ m.

*) Radu Dimitriu este inginer principal la Centrala industrială de utilaj energetic, metalurgic şi maşini de ridicat din cadrul Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini.

Pentru stabilirea rapidităţii specifice a turbinelor cu suprapresiune care fac obiectul articolului de faţă, prof. dr. ing. Dorin Pavel [1] a indicat relaţia :

$$n_s = k \cdot \frac{30\,000}{24 + H\dfrac{H_b + 1{,}5}{H_b - H_s}} - 100, \qquad (3)$$

în care
n_s este rapiditatea specifică ;
k — coeficient de siguranţă împotriva cavitaţiei, $0{,}85 < k < 0{,}95$;
H — căderea de calcul a turbinei ;
H_b — înălţimea barometrică, în m ;
H_s — înălţimea de aspiraţie (care se ia cu valoare negativă în cazul funcţionării înecate, cu contrapresiune a aspiratorului turbinei).

Pentru stabilirea valorii înălţimii barometrice se foloseşte relaţia :

$$H_b = 10{,}33 - \frac{A}{900} - \frac{p_v}{\gamma}, \qquad (4)$$

în care
A este altitudinea rotorului turbinei, în m, deasupra mării (mdnM) ;
p_v — presiunea de vaporizare a apei, care se regăseşte în tabelele de calcul existente în literatura de specialitate şi variază în funcţie de temperatura apei, exprimată în °C ;
γ — greutatea specifică a apei = 1000 kg/m³.

Relaţia (3), stabilită pe bază statistică de către autorul citat, presupune efectuarea unor calcule oarecum laborioase, precum şi cunoaşterea înălţimii de aspiraţie (pozitivă sau negativă), pentru determinarea rapidităţii specifice. Înălţimea de aspiraţie nu poate fi definitivată uneori la faza de proiect tehnic, iar pe de altă parte folosirea coeficientului k, din formula (3), cu valori inferioare pentru turbinele avînd puteri unitare mari şi cu valori superioare pentru turbinele de puteri mici, introduce implicit un grad de aproximaţie suplimentar la stabilirea rapidităţii specifice.

Pentru simplificarea calculelor şi obţinerea unor rezultate rapide la stabilirea rapidităţii specifice şi a turaţiei sincrone la hidroagregatele

antrenate de turbine elicoidale, semi-Kaplan, Kaplan, bulb şi bulb reversibil, funcţionînd în gamele cele mai diverse de puteri şi căderi, se stabileşte următoarea relaţie :

$$n_s = \frac{35\,000}{1{,}55\,H + 30}, \qquad (5)$$

După cum se observă din structura formulei, nu este necesar să se cunoască nici înălţimea barometrică şi nici înălţimea de aspiraţie a turbinei.

Pe baza formulei (5) s-a trasat curba $n_s = f(H)$ (fig. 1).

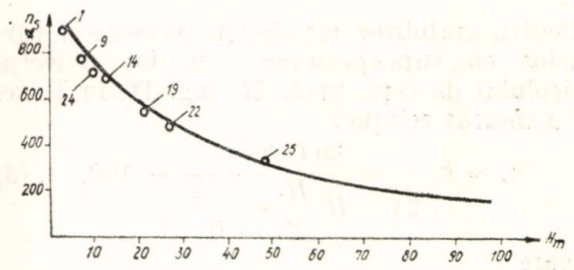


Fig. 1. Curba variaţiei rapidităţii specifice cu căderea de calcul a turbinei.

1 — H = 5,30 m; n_s = 900
9 — H = 9,90 m; n_s = 785
14 — H = 14,00m; n_s = 675
19 — H = 22,80m; n_s = 535
22 — H = 27,00 m: n_s = 493
24 — H = 13,57 m; n_s = 680
25 — H = 48,00 m; n_s = 380

Din figură se constată că diagrama $n_s = f(H)$ este o hiperbolă echilateră la axele de coordonate. Pe curbă au fost marcate cele şapte puncte, şi anume 1, 9, 14, 19, 22, 24, 25 din tabelul 1, puncte care au folosit la stabilirea relaţiei (5) şi la construirea diagramei din figura 1.

Relaţia (1) se poate pune sub forma :

$$n = \frac{n_s H}{\sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}}} \qquad (6)$$

Sub această formă, turaţia sincronă a hidroagregatelor echipate cu tipul de turbine arătat se poate stabili prin calcularea directă a rapidităţii specifice, conform relaţiei (5) sau din diagrama 1.

Pentru obţinerea unor rezultate şi mai exacte, care evită erorile de citire pe curba $n_s = f(H)$, conform diagramei respective, formula (6) se poate utiliza sub forma :

$$n = \frac{\frac{35\,000}{2{,}55\,H + 30} \cdot H}{\sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}}} \qquad (7)$$

Relaţia (6), respectiv (7), a fost verificată pe un număr de 144 turbine de tipul elicoidal, semi-Kaplan, bulb şi bulb reversibil, construite în perioada 1946—1975 de firmele KMV-Suedia, Voith-R.F.G., Allis Chalmers-S.U.A., LMZ-U.R.S.S. şi Întreprinderea de construcţii de maşini Reşiţa.

Tabelul 1

Nr. crt.	Tipul turbinei	Puterea unitară P kW	Turaţia sincronă a hidroagregatului adoptată	Turaţia sincronă conf. formulelor (6) şi (7)	Căderea de calcul m	Firma constructoare, ţara	Centrala hidroelectrică, ţara
1	Kaplan	1100	187,5	187,5	5,30	KMW Suedia	Strömdaten Suedia
2	Kaplan	1100	327,0	327,0	10,00	Idem	Nato Branco Brazilia
3	Kaplan	1300	300,0	300,0	9,00	Idem	Samkomforsen, Suedia
4	Bulb	2180	187,5	187,5	7,50	Idem	Höllefors Suedia
5	Kaplan	2800	125,0	125,0	5,50	Idem	Hoksünd Norvegia
6	Kaplan	3700	333,3	333,0	18,60	Idem	Bathüsstromon Suedia
7	Bulb	3700	250,0	250,0	14,00	Idem	Skogforsen Suedia
8	Kaplan	4100	187,5	187,5	10,20	Idem	Kistefos Norvegia
9	Kaplan	4400	166,6	166,6	9,90	Idem	Skeen Suedia
10	Elicoidală	4600	257,0	257,0	16,00	Idem	Biraju Brazilia
11	Kaplan	12300	166,6	166,6	17,00	Idem	Visek Norvegia
12	Kaplan	14700	187,5	187,5	21,50	Idem	Jeniskoski U.R.S.S.
13	Kaplan	15300	128,5	128,5	14,70	Idem	Bearspaw Canada
14	Kaplan	15700	125,0	125,0	14,00	Idem	Höllebro Suedia
15	Kaplan	20800	125,0	125,0	16,90	Idem	Bathfors Suedia
16	Kaplan	23700	75,0	75,0	10,00	Idem	Sollefors Suedia
17	Kaplan	26100	187,5	187,5	34,50	Idem	Laforsen III Suedia
18	Kaplan	28000	136,0	136,0	23,00	Idem	Jössefors Suedia
19	Kaplan	39000	115,4	115,4	22,80	Idem	Bergeforsen Suedia
20	Kaplan	43500	125,0	125,0	27,80	Idem	Stadforsen Suedia
21	Kaplan	45300	125,0	125,0	27,00	Idem	Moforsen Suedia
22	Kaplan	47800	100,0	100,0	27,00	Idem	Barajul Assuan, Egipt
23	Elicoidală	55780	105,9	105,9	26,00	Allis Chalmers S.U.A.	Wilson S.U.A.
24	Kaplan	58000	62,5	62,5	13,57	LMZ URSS	Irkutsk U.R.S.S.
25	Kaplan	73300	150,0	150,0	48,00	KMW Suedia	Vangfors Suedia

Pentru un număr de 27 turbine din cele 144 examinate *), reprezentînd procentual 18,75% din total, turaţia sincronă stabilită conform relaţiei (6), respectiv (7), a fost identică cu cea adoptată de firmele constructoare, conform datelor redate în tabelul 1 la hidroagregatele din centralele în funcţiune, specificate în coloana 8 a tabelului.

După cum se observă din tabel s-au transcris turbinele în ordinea crescătoare a puterilor, pentru a se da o imagine a domeniului de aplicare a formulei.

Pentru a se putea urmări rezultatele obţinute prin aplicarea formulei (7) la cele 144 turbine de tipul respectiv, s-a întocmit tabelul 2, care

Tabelul 2

Nr. crt.	Număr de turbine la care abaterea de turaţie este zero şi procent (%) din totalul de 144 turbine	Număr de turbine la care abaterea este ± 1 treaptă şi procent (%) din totalul de 144 turbine	Număr de turbine la care abaterea de turaţie este ± 2 trepte şi procent (%) din totalul de 144 turbine	Număr de turbine la care abaterea deturaţie este ±3 trepte şi procent (%) din totalul de 144 turbine	Număr de turbine la care abaterea de turaţie este mai mare de ± 3 trepte şi procent (%) din totalul de 144 turbine
1	27/18,75	—	—	—	—
2	—	36/25,00	—	—	—
3	—	—	23/16,00	—	—
4	—	—	—	10/7,00	—
5	—	—	—	—	48/33,25

permite să se tragă concluzii asupra eficacităţii de utilizare a formulei propuse mai sus.

În vederea stabilirii eficienţei formulei (5) se stabileşte, în cele ce urmează şi pe baza tabelului 3, eroarea medie pătratică a mediei aritmetice a abaterilor turaţiilor calculate prin intermediul formulei respective, faţă de turaţiile adoptate constructiv.

Eroarea medie pătratică a mediei aritmetice a abaterilor statistice este:

$$M = \pm\sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} = \pm\sqrt{\frac{470}{144\cdot 143}} =$$

$$= 0{,}15 < 1 \text{ treaptă}, \qquad (8)$$

ceea ce arată valabilitatea formulei propuse.

Formula (8) arată că eroarea medie pătratică a mediei aritmetice a abaterilor statistice ale turaţiilor date de formula (7), faţă de cele adoptate constructiv, este 0,15.

Prin extrapolare, în cazul extinderii verificării aplicabilităţii formulei pentru un număr mai mare de turbine, se poate aprecia că formula propusă poate da abateri prezumate de pînă la ±1 treaptă faţă de turaţia adoptată de firmele constructoare de turbine hidraulice.

Avînd în vedere că pentru turbinele cu suprapresiune de tip elicoidal, semi-Kaplan, Kaplan,

*) Datele privind cele 144 de turbine examinate de autor nu au putut fi publicate în revistă, din cauza spaţiului mare pe care îl ocupă; ele pot fi consultate la redacţia revistei.

Tabelul 3

Nr. crt.	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală +	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală −	v^2	Nr. crt. conf. tab. 1	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală +	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală −	v^2	Nr. crt. conf. tab. 1	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală +	Abaterea în nr. de trepte faţă de turaţia nominală −	v^2
1	0	0	0	51		5	25	101		2	4
2	1		1	52		1	1	102		2	4
3	2		4	53		3	9	103		7	49
4		1	1	54		2	4	104	9		81
5	0	0	0	55	2		4	105		5	25
6	6		36	56		1	1	106	0	0	0
7	1		1	57	0	0	0	107	2		4
8	1		1	58	0	0	0	108		8	64
9	5		25	59	0	0	0	109		1	1
10	5		25	60		3	9	110		11	121
11	5	3	25	61		4	16	111		8	64
12	3		9	62		1	1	112		1	1
13	1	1	1	63	1		1	113		3	9
14	5		25	64		1	1	114		3	9
15		1	1	65		1	1	115		11	121
16	5		25	66		2	4	116		6	36
17	1		1	67	0	0	0	117	10		100
18		1	1	68		3	9	118		7	49
19		7	49	69		1	1	119		11	121
20	1		1	70	0		0	120		2	4
21	1		1	71		1	1	121	11		121
22	—	1	1	72		7	49	122		2	4
23	1		1	73	5		25	123		4	16
24	0	0	0	74	1		1	124		4	16
25		1	1	75	1		1	125		10	100
26	3		9	76		5	25	126	7		49
27	3		9	77		1	1	127		1	1
28	0	0	0	78		1	1	128		2	4
29	0	0	0	79	3		9	129		9	81
30	0	0	0	80		2	4	130		10	100
31	2		4	81		15	225	131		0	0
32	0	0	0	82	15			132		1	1
33	8		64	83	8		64	133		11	121
34	0	0	0	84	15		225	134		3	9
35	0	0	0	85		4	16	135		2	4
36	1		1	86	11		121	136	4	2	4
37	1		1	87	0	0	0	137		6	36
38	2		4	88		2	4	138	4		16
39	2		4	89	1		1	139	0	0	0
40	0		0	90	1		1	140		1	1
41		2	4	91		1	1	141		6	36
42	6		36	92		8	64	142	7		49
43	4		16	93	0	0	0	143	0	0	0
44		1	1	94		2	4	144	5		25
45	2		4	95		4	16				
46		2	4	96	0	0	0				
47	9		81	97	0	0	0				
48	0	0	0	98	0	0	0				
49	0	0	0	99	0	0	0				
50	2		4	100		2	4				

$$\sum_{n=1}^{n=144} v^2 = 470$$

bulb şi bulb reversibil, la debite relativ mari, turaţiile adoptate sînt în general mici, în jurul turaţiei de 100 t/min la ferecvenţa reţelei electrice de 50 Hz, respectiv 120 t/min la frecvenţa de 60 Hz, şi că treptele de variaţie a turaţiilor sincrone la aceste turaţii mici sînt reduse, se poate considera că formula (7), propusă mai sus, corespunde scopului, oferind un mijloc rapid de calcul al rapidităţii specifice, respectiv al turaţiei sincrone, la hidroagregatele echipate cu turbine de tipul menţionat.

Bibliografie

[1] P a v e l, D. *Maşini hidraulice.*
[2] * * * *Reference List for Water Turbines.* K.M.W. — Suedia.
[3] * * * Allis Chalmers — USA — Water Turbines Department.
[4] * * * *Amenajări hidroenergetice şi centrale hidroelectrice echipate cu turbine hidraulice fabricate de LMZ.*
[5] * * * *Turbine hidraulice de tip Kaplan realizate în R.S. România,* ICPEHR.
[6] V o i t h, J.M. *Wasserturbinen Voith.*
[7] B î r g l ă z a n, A. ş.a. *Încercările maşinilor hidraulice şi pneumatice.*

(Articol intrat în redacţie la 23 februarie 1977)

Evaluarea consumurilor proprii tehnologice din conductoarele de protecţie ale liniilor electrice aeriene

Dr. ing. **Fl. Predan**
şi subing. **D. Caraivan***)

Reducerea consumurilor proprii tehnologice în transportul şi distribuţia energiei electrice constituie una dintre cele mai actuale probleme din cadrul dezvoltării şi exploatării sistemului electroenergetic naţional. Importanţa provine din aceea că o energie superioară pierdută, cum este energia electrică, conduce la combustibili primari pierduţi care conţin o energie primară de aproape trei ori mai mare.

Un consum propriu tehnologic se înregistrează şi în conductoarele de protecţie ale liniilor electrice aeriene, care, pentru anumite moduri de legare a acestora la stîlpii liniilor, poate să devină important. În cele ce urmează se va trata cazul în care conductoarele de protecţie sînt legate la pămînt la fiecare stîlp al liniei, caz care înregistrează cele mai mari consumuri proprii tehnologice. În acest caz, conductoarele de protecţie, împreună cu stîlpii şi pămîntul, formează contururi închise care sînt străbătute de fluxurile cîmpului de inducţie magnetică produs de curenţii fazelor active ale liniilor. Aceste fluxuri induc tensiuni electromotoare în contururile închise sus-amintite, care dau naştere la curenţi prin aceste contururi. Circulaţia acestor curenţi prin rezistenţa elementelor conturului conduce la înregistrarea de consumuri proprii tehnologice. Este necesară determinarea acestor consumuri prin calcul şi verificarea pe cale experimentală a exactităţii calculelor.

Determinarea prin calcul a consumurilor proprii tehnologice în conductoarele de protecţie

Se consideră un contur închis, de formă dreptunghiulară, în prezenţa căruia se află un conductor parcurs de un curent electric. Acest contur este străbătut de cîmpul de inducţie magnetică produs de curentul care circulă prin conductor. Se va determina fluxul acestui cîmp în cazul particular în care conductorul este paralel cu laturile mari ale dreptunghiului conturului, caz potrivit pentru problema tratată. Suprafaţa aferentă unei porţiuni dx din acest contur (fig. 1) este:

$$ds = \frac{l.r.d\alpha}{\sin \alpha}, \qquad (1)$$

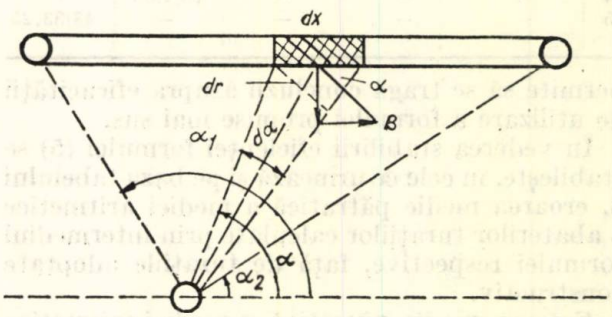


Fig. 1. Fluxul unui curent printr-un contur închis. Secţiune prin ansamblul contur-conductor.

iar fluxul cîmpului de inducţie magnetică ce străbate această suprafaţă:

$$d\varphi = \mu_0 . \frac{1}{2\pi} . l . \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} . d\alpha \qquad (2)$$

Prin integrare se obţine fluxul total în conturul considerat:

$$\varphi = \frac{1}{2\pi} . \mu_0 . l . i \, (\ln \sin \alpha_1 - \ln \sin \alpha_2) \qquad (3)$$

Din relaţia (3) se observă că, pentru $\alpha_1 = \pi - \alpha_2$, valoarea fluxului total prin contur este nulă, ceea ce era de aşteptat, deoarece, în acest caz, valoarea fluxului care străbate într-un sens suprafaţa conturului este egală cu valoarea celui care o străbate în sens opus.

*) Autorii lucrează la ICEMENERG.

Pentru o linie electrică aeriană tip portal, descompusă în contururi independente, formate de conductoarele active şi de protecţie împreună cu conductoarele echivalente de întoarcere prin pămînt ale acestora (fig. 2), prin aplicarea formulei (3) se obţine în conturul c_{p1}, c'_{p1} :

$$\varphi_{t1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \mu_0 \cdot l \cdot \sqrt{2} \left(\left(I_1 \cdot \ln \frac{D}{D_{1p1}} \cdot \sin \omega t + \right. \right.$$

$$+ I_2 \cdot \ln \frac{D}{D_{2p1}} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) +$$

$$\left. \left. + I_3 \cdot \ln \frac{D}{D_{3p1}} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right) \right) \qquad (3')$$

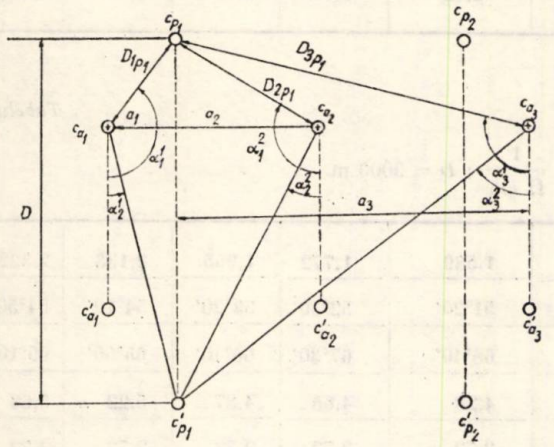


Fig. 2. Circuitele independente ale unei linii trifazate.

S-au echivalat distanţele dintre conductoarele reale şi cele echivalente de întoarcere prin pămînt cu valoarea medie D. Distanţa dintre un conductor real şi cel echivalent de întoarcere prin pămînt depinde de conductibilitatea solului şi este cuprinsă între valorile extreme de 1000 m şi 3000 m [1]. De aici rezultă că adoptarea valorii medii de mai sus nu conduce practic la denaturarea rezultatelor calculului tensiunii electromotoare.

Tabelul 1

Rezistenţa caracteristică de punere la pămînt a liniei într-un punct al său

$R_{sc}[\Omega]$

Rezistenţa de punere la pămînt R_s [Ω]	Conductor	OL 50	OL 70	OL 95	AL–OL160/9
5		2,139	1,91	1,69	0,789
10		3,28	2,896	2,52	1,144
15		4,164	3,659	3,167	1,417
20		4,914	4,305	3,716	1,644

Prin derivarea acestui flux şi prin o serie de operaţii matematice simple se obţine :

$$e_{t1} = -\frac{1}{4\pi} \cdot \mu_0 \cdot l \cdot \omega \cdot \sqrt{2} \left(\left(2I_1 \cdot \ln \frac{D}{D_{1p1}} - \right. \right.$$

$$- I_2 \cdot \ln \frac{D}{D_{2p1}} - I_3 \cdot \ln \frac{D}{D_{3p1}} \Big) \cdot \cos \omega t +$$

$$\left. + \sqrt{3} \left(I_2 \cdot \ln \frac{D}{D_{2p1}} - I_3 \cdot \ln \frac{D}{D_{3p1}} \right) \cdot \sin \omega t \right) \qquad (4)$$

Dacă se ţine seama de simetria construcţiei liniei tip portal, de prezenţa aceloraşi curenţi i_1, i_2, i_3, se obţine similar pentru conturul c_{p2}, c'_{p2} :

$$e_{t2} = +\frac{1}{4\pi} \cdot \mu_0 \cdot l \cdot \omega \cdot \sqrt{2} \left(\left(I_1 \cdot \ln \frac{D}{D_{1p1}} + \right. \right.$$

$$+ I_2 \cdot \ln \frac{D}{D_{2p1}} - 2I_3 \cdot \ln \frac{D}{D_{3p1}} \Big) \cos \omega t +$$

$$\left. + \sqrt{3} \left(I_1 \cdot \ln \frac{D}{D_{1p1}} - I_2 \cdot \ln \frac{D}{D_{2p1}} \right) \sin \omega t \right) \qquad (4')$$

În formulele (4) şi (4') s-au utilizat notaţiile din figura 2 pentru dimensiuni, iar prin I_1, I_2, I_3 s-au notat valorile eficace ale curenţilor (presupuşi neegali) pe cele trei faze active.

Se obţin expresii de forma :

$$e_{t1} = -\frac{1}{2\pi} \cdot \mu_0 \cdot l \cdot \omega \cdot I_m \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \sin(\omega t + \beta) \qquad (5)$$

$$e_{t2} = +\frac{1}{2\pi} \cdot \mu_0 \cdot l \cdot \omega \cdot I_m \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{a'^2 + b'^2} \cdot \sin(\omega t + \beta') \qquad (5')$$

unde a, b, a', b' sînt nişte coeficienţi adimensionali din formulele (4) şi (4'), care conţin şi coeficientul de abatere a valorilor curenţilor de pe cele trei faze faţă de valoarea medie a lor, iar fazele iniţiale :

$$\beta = \operatorname{arc\,tg} \frac{a}{b} \qquad (6)$$

$$\beta' = \operatorname{arc\,tg} \frac{a'}{b'} \qquad (6')$$

Pentru toate cazurile practice, valorile eficace ale t.e.m. induse pe cele două conductoare de protecţie sînt practic egale, iar fazorii lor sînt aproape în opoziţie de fază (vezi formulele (5) şi (5') şi tabelul 2). Atît fazele iniţiale cît şi modulele t.e.m. induse sînt dependente de coeficientul de abatere a curenţilor de pe fazele

Tabelul 2a

Valoarea coeficienţilor de calcul pentru mărimile electrice din conductoarele de protecţie ale LEA 400 kV pentru sol umed

$\lambda = 10^{-4} \frac{1}{\Omega \text{ cm}}$; D = 1000 m ; $D_{1p1} = 10{,}124$ m ; $D_{2p1} = 12{,}62$ m ; $D_{3p1} = 20{,}26$ m

Dezechilibrarea %	0	1	2	3	4	5	6
$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a'^2 + b'^2}$	1,228	1,371	1,515	1,659	1,804	1,949	2,096
β	48°10′	49°30′	51°	52°	52°50′	53°30′	54°10′
β'	71°50′	70°30′	69°	68°	67°10′	66°30′	65°50′
Coef. c *af.* E_{t1}, E_{t2}	3,33	3,7	4,08	4,38	4,59	4,91	5,35
Coef. c' *af* · $E/2$	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72

Tabelul 2b

Idem, pentru sol uscat $\lambda = 10^{-5} \frac{1}{\Omega \text{ cm}}$; $D = 3000$ m

$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a'^2 + b'^2}$	1,228	1,408	1,589	1,772	1,955	2,138	2,322
β	48°10′	50°	51°20′	52°30′	53°20′	54°10′	54°50′
β'	71°50′	70°	68°40′	67°30′	66°40′	65°50′	65°10′
Coef. c *af.* E_{t1}, E_{t2}	3,33	3,8	4,28	4,66	4,87	5,22	5,68
Coef. c' *af.* $E/2$	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72

Valoarea instantanee a t.e.m. :

$e_{t_1} = -c\, I\sqrt{2} \sin(\omega t + \beta)$
$e_{t_2} = +c\, I\sqrt{2} \sin(\omega t + \beta')$
$e_{l_2} = -c'\, I\sqrt{2} \sin(\omega t + 60)$

active faţă de valoarea medie a lor. S-a considerat cazul de abatere de forma :

$I_1 = (1 + k)\, I_m$; $I_2 = I_m$; $I_3 = (1 - k)\, I_m$,

acesta fiind cel mai defavorabil, dar şi frecvent întîlnit la liniile cu sarcină mică. Pentru oricare alt caz întîlnit se pot utiliza relaţiile (4) şi (4′).

În cazul liniilor tip portal mai există încă un contur închis, format din cele două conductoare de protecţie împreună cu consolele şi vîrfarele stîlpilor, care este străbătut de o parte din fluxul cîmpului de inducţie magnetică produs de curenţii celor trei faze active (fig. 3). Din considerentele care au condus la obţinerea relaţiei (3) se observă că curenţii din conductoarele active c_{a1} şi c_{a3} conduc la t.e.m. induse în conturul sus-amintit, iar cel din conductorul c_{a2} nu conduce la o t.e.m. indusă. Prin adunarea t.e.m. induse în contur de cei doi curenţi se obţine :

$$e = -\frac{1}{2\pi} \cdot \mu_0 l \cdot I_m \cdot \omega \cdot \sqrt{2} \cdot \ln \frac{D_{3p1}}{D_{1p1}} \cdot \sin(\omega t + 60) \qquad (7)$$

Formula (7) este stabilită considerînd curenţii echilibraţi pe cele trei faze. Dezechilibrarea

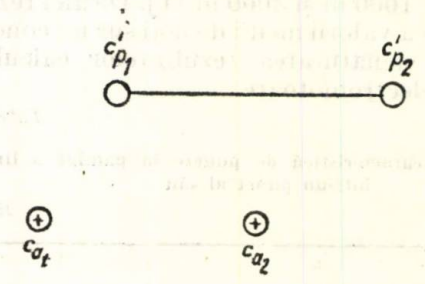


Fig. 3. T.e.m. indusă în conturul format de cele două conductoare de protecţie.

curenţilor nu conduce decît la o modificare neglijabilă a valorilor date de această formulă.

Fiecare conductor de protecţie face parte dintr-un ansamblu de circuite. Dacă se descompune acest ansamblu în circuite indepen-

dente şi se calculează curenţii din fiecare ramură a ansamblului (fig. 4), se obţine :

$$\underline{I}_{cp1} = \frac{\underline{E}}{2 \cdot \underline{Z}_{cp}} + \frac{\underline{E}_{t1}}{\underline{Z}_{cp} + 2\underline{Z}_{sc} + \underline{Z}_p}; \tag{8}$$

$$\underline{I}_{p1} = \frac{\underline{E}_{t1}}{\underline{Z}_{cp} + 2\underline{Z}_{sc} + \underline{Z}_p}$$

$$\underline{I}_{cp2} = \frac{-\underline{E}}{2\underline{Z}_{cp}} + \frac{-\underline{E}_{t1}}{\underline{Z}_{cp} + 2\underline{Z}_{sc} + \underline{Z}_p} \tag{9}$$

$$\underline{I}_{p2} = \frac{-\underline{E}_{t1}}{\underline{Z}_{cp} + 2\underline{Z}_{sc} + \underline{Z}_p}$$

unde s-au utilizat notaţiile :

$\underline{E}$ — t.e.m. indusă în conturul format de cele două conductoare de protecţie împreună cu consolele şi vîrfarele stîlpilor învecinaţi ;

$\underline{E}_{t1}$ — t.e.m. indusă în conturul format de un conductor de protecţie, stîlpi învecinaţi şi conductorul echivalent de întoarcere prin pămînt aferent acestuia ;

$\underline{Z}_{cp1}$, $\underline{Z}_{cp2}$ — impedanţele conductoarelor de protecţie calculate ţinîndu-se seama de prezenţa ansamblului de conductoare ale liniei ;

$\underline{Z}_{sc}$ — impedanţa de punere la pămînt a liniei într-un punct al său ;

$\underline{Z}_p$ — impedanţa conductorului echivalent de întoarcere prin pămînt ;

$\underline{I}_{cp1}$, $\underline{I}_{cp2}$ — curenţii din conductoarele de protecţie ;

$\underline{I}_{p1}$, $\underline{I}_{p2}$ — curenţii din conductoarele echivalente de întoarcere prin pămînt.

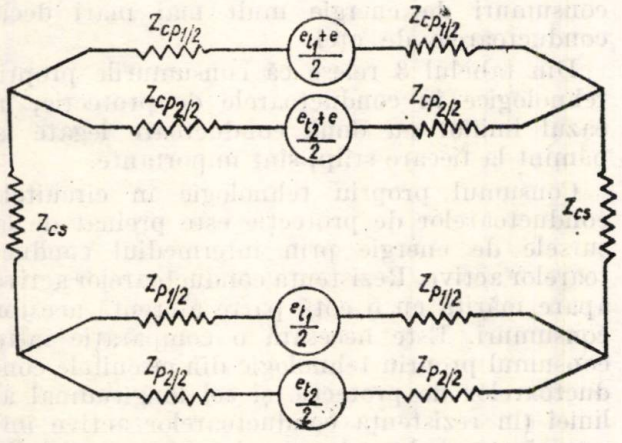


Fig. 4 *a*. Schema circuitelor formate de conductoarele de protecţie împreună cu stîlpii şi cu pămîntul.

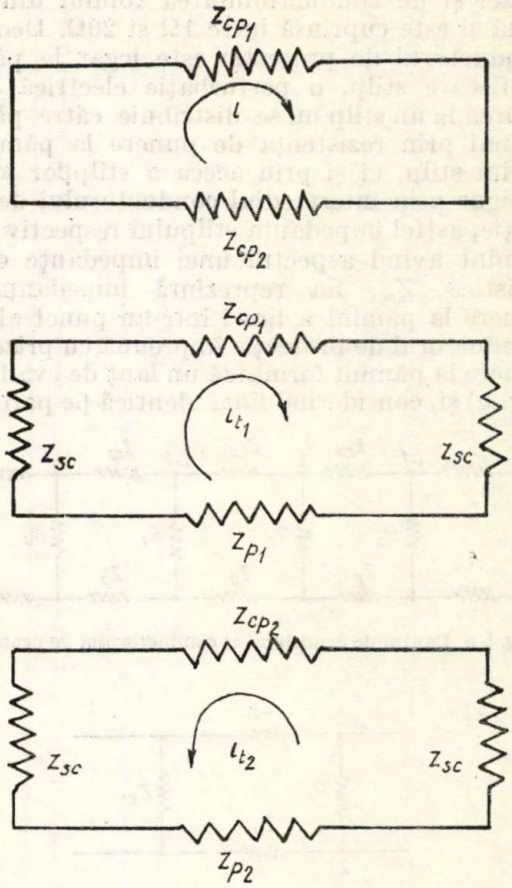


Fig. 4 *b*. Circuite independente.

În cazul liniilor cu două conductoare de protecţie, prin conductoarele echivalente de întoarcere prin pămînt circulă doi curenţi de sensuri aproape opuse, distanţaţi în spaţiu la cîţiva metri. Doi curenţi de sensuri opuse se resping şi, datorită masei conductoare sub formă de semiplan infinit, ei nu se suprapun (nu se scad), ci se redistribuie în semiplan în alt mod decît în cazul existenţei unui singur conductor de protecţie [1]. Valoarea rezistenţei conductorului de întoarcere prin pămînt este de 5Ω/100km, iar din studiul conductoarelor masive rezultă că reactanţa unui asemenea conductor este egală cu rezistenţa lui [2].

La liniile electrice simplu circuit de diferite tipuri, echipate cu un singur conductor de protecţie, calculul se efectuează cu relaţia (4), evident considerîndu-se dimensiunile reale ale liniei. În cazul în care linia are două circuite active care funcţionează în paralel, se aplică de două ori formula (4) şi valorile obţinute pentru t.e.m. se compun fazorial. Dacă cele două circuite nu funcţionează în paralel, poate să apară o infinitate de valori, dar cea mai mare valoare a t.e.m. care s-ar obţine nu depăşeşte pe cea din cazul funcţionării în paralel la aceeaşi sarcină.

Fiecare stîlp este pus la pămînt printr-o rezistenţă R_s a cărei valoare depinde de construcţia

prizei şi de conductibilitatea solului din acea zonă şi este cuprinsă între 1Ω şi 20Ω. Deoarece conductorul de protecţie este legat la pămînt la fiecare stîlp, o perturbaţie electrică ce ar apărea la un stîlp nu se distribuie către pămînt numai prin rezistenţa de punere la pămînt a acelui stîlp, ci şi prin aceea a stîlpilor vecini, desigur prin intermediul conductorului de protecţie, astfel impedanţa stîlpului respectiv către pămînt avînd aspectul unei impedanţe caracteristice $\underline{Z}_{sc}$. Ea reprezintă impedanţa de punere la pămînt a liniei într-un punct al său. Conductorul de protecţie împreună cu prizele de punere la pămînt formează un lanţ de cvadripoli (fig. 5) şi, considerînd linia identică pe parcursul

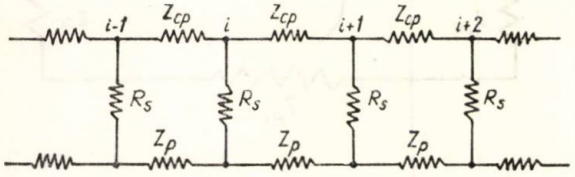


Fig. 5 *a*. Lanţul de cvadripoli al conductorului de protecţie.

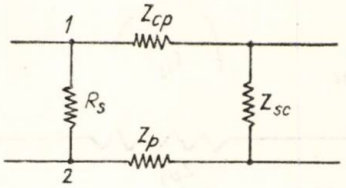


Fig. 5 *b*. Referitor la determinarea Z_{sc}.

ei, impedanţa $\underline{Z}_{sc}$ apare ca o impedanţă caracteristică a lanţului de cvadripoli. Această impedanţă caracteristică se poate determina uşor. Se consideră un cvadripol i care are valoarea impedanţei echivalente egală cu cea a impedanţei caracteristice şi este legat de cvadripolul vecin $i+1$ prin intermediul unei impedanţe a cărei valoare este egală cu cea a impedanţei caracteristice. Impedanţa echivalentă a cvadripolului considerat între punctele 1 şi 2 (fig 5) este :

$$\underline{Z}_{sc} = \frac{R_s(\underline{Z}_{cp} + \underline{Z}_p + \underline{Z}_{sc})}{R_s + \underline{Z}_{cp} + \underline{Z}_p + \underline{Z}_{sc}} \qquad (10)$$

De aici rezultă o ecuaţie de gradul doi de la care se alege rădăcina cu semnul pozitiv :

$$\underline{Z}_{sc} = \frac{-(\underline{Z}_{cp}+\underline{Z}_p)+\sqrt{(\underline{Z}_{cp}+\underline{Z}_p)^2+4R_s(\underline{Z}_{cp}+\underline{Z}_p)}}{2} \qquad (11)$$

Această valoare se ia în consideraţie în formulele (8) şi (9) în locul rezistenţei R_s.

Din calculele practice reiese că aproximarea înlocuirii valorilor impedanţelor din formula (11) cu valorile părţilor reale ale lor (rezistenţele), pentru cazurile practice, conduce la erori neglijabile.

Impedanţa dată de formula (11) se referă la o linie de lungime infinită. Proprietatea de linie de lungime infinită o are o linie după 5—6 stîlpi de la un capăt al ei. De asemenea, pe aceeaşi distanţă de la punctul de modificare a materialului din care este construit conductorul de protecţie, sau de la o transpunere a conductoarelor active, se produc modificări în circulaţia curenţilor din conductoarele de punere la pămînt, în restul liniei aceşti curenţi circulînd ca şi cum tronsoanele de linie ar fi de lungime infinită. De aici rezultă că transpunerile conductoarelor active nu conduc la o micşorare a consumurilor proprii tehnologice în conductoarele de protecţie decît pe o distanţă de 5—6 stîlpi într-o parte şi în alta a transpunerii.

Valorile rezistenţei caracteristice pentru diferite conductoare de protecţie şi diferite rezistenţe de punere la pămînt se găsesc în tabelul 1.

În tabelul 2 se dau valorile coeficienţilor necesari determinării valorilor instantanee ale t.e.m. induse în circuitele conductoarelor de protecţie ale liniilor de 400 kV şi în tabelul 3 sînt daţi coeficienţii necesari determinării consumurilor proprii tehnologice aferente conductoarelor de protecţie pentru diferite tipuri de linii de transport utilizate la noi, precum şi relaţiile de calcul necesare.

Utilizarea conductoarelor de protecţie din aluminiu, în loc de oţel, a fost introdusă din motive de stabilitate termică a acestora în caz de scurtcircuite nesimetrice pe linie. În cele două cazuri, din tabelul 3 se vede că, pe unitatea de lungime şi în acelaşi interval de timp, energia care se transformă în căldură este mult mai mare la utilizarea conductoarelor de aluminiu decît la utilizarea celor de oţel. Avînd în vedere că temperatura de topire este mai mare decît dublul la conductoarele de oţel faţă de conductoarele de aluminiu, în aceleaşi condiţii de disipare a căldurii în mediul înconjurător, rezultă că conductoarele de aluminiu au o stabilitate termică mai proastă şi motivul introducerii lor nu este justificat. În funcţionarea normală a liniei, conductoarele de aluminiu conduc la consumuri de energie mult mai mari decît conductoarele de oţel.

Din tabelul 3 reiese că consumurile proprii tehnologice în conductoarele de protecţie, în cazul liniilor cu două conductoare legate la pămînt la fiecare stîlp, sînt importante.

Consumul propriu tehnologic în circuitele conductoarelor de protecţie este preluat de la sursele de energie prin intermediul conductoarelor active. Rezistenţa conductoarelor active apare mărită cu o cotă parte aferentă acestor consumuri. Este necesară o comparaţie între consumul propriu tehnologic din circuitele conductoarelor de protecţie şi cel longitudinal al liniei (în rezistenţa conductoarelor active împreună cu cel al conductoarelor de protecţie). În tabelul 4 se dă în procente acest raport.

Tabelul 3

Date necesare pentru calculul consumurilor proprii tehnologice în conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune

Procente de dezechilibrare %	Coeficient k						
	0	1	2	3	4	5	6
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × OL 70 mm²	0,212	0,235	0,264	0,273	0,304	0,335	0,359
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × OL 95 mm²	0,291	0,33	0,365	0,386	0,425	0,465	0,501
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × AL—OL 160/95 mm²	0,715	0,791	0,876	0,92	1,01	1,12	1,308
LEA 220 kV 3 × ALOL 450 mm² + 2 × OL 70 mm²	0,159	0,191	0,226	0,281	0,311	0,353	0,397
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + 2 × OL 95 mm²	0,222	0,267	0,316	0,388	0,439	0,492	0,547
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + OL 70 mm² dublu circuit	0,162	0,202	0,245	0,29	0,34	0,393	0,453
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + OL 95 mm² dublu circuit	0,221	0,275	0,332	0,395	0,462	0,535	0,615
LEA 110 kV 3 × AL—OL 240 mm² + OL 50 mm² dublu circuit	0,155	0,2	0,23	0,31	0,37	0,44	0,52
LEA 110 kV 3 × AL—OL 240 mm² + OL 50 mm² simplu circuit	0,021	0,027	0,034	0,042	0,051	0,059	0,068

Consumurile proprii tehnologice se calculează cu relația $\Delta P = k \cdot I^2$

Tabelul 4

Valoarea în procente a consumului propriu tehnologic din conductoarele de protecție comparativ cu cel din conductoarele active

Procente de dezechilibrare	0	1	2	3	4	5	6
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × OL 70 mm²	2,12	2,34	2,62	2,71	3,02	3,31	3,53
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × OL 95 mm²	2,88	3,26	3,59	3,79	4,16	4,53	4,86
LEA 400 kV 3 × 2 AL—OL 450 mm² + 2 × AL—OL 160/95 mm²	6,8	7,47	8,21	8,58	9,34	10,16	11,78
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + 2 OL 70 mm²	0,81	0,97	1,14	1,41	1,56	1,77	1,98
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + 2 × OL 95 mm²	1,12	1,34	1,59	1,94	2,19	2,45	2,72
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + OL × 70 mm² dublu circuit	0,41	0,51	0,62	0,73	0,86	0,99	1,14
LEA 220 kV 3 × AL—OL 450 mm² + OL × 95 mm² dublu circuit	0,56	0,7	0,84	0,99	1,16	1,35	1,54
LEA 110 kV 3 + AL—OL 240 mm² + OL × 50 mm² dublu circuit	0,21	0,27	0,31	0,42	0,5	0,59	0,7
LEA 110 kV 3 × AL—OL 240 mm² + OL × 50 mm² simplu circuit	0,06	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19

$$\alpha\% = \frac{k}{3nR + k} \cdot 100$$

n : numărul de circuite trifazate

Verificarea rezultatelor calculului prin măsurători efectuate pe conductoarele de protecţie ale liniilor electrice

Circuitul închis format de conductoarele de protecţie are particularitatea că t.e.m. indusă în el este distribuită pe toată lungimea conturului acestuia. Deoarece nu ne găsim în cazul unui circuit electric cu o sursă concentrată de tensiune şi cu un circuit pasiv ataşat ei, nu se poate măsura direct puterea electrică ce se consumă în el. Pentru a determina această putere se măsoară curentul care circulă prin contur şi, cunoscînd rezistenţele electrice ale elementelor conturului, se calculează puterea consumată cu formula clasică a efectului Joule.

Această metodă este perfect aplicabilă în cazul existenţei unui singur conductor de protecţie. În cazul a două conductoare de protecţie, determinarea experimentală este numai parţială, deoarece nu avem nici o posibilitate de măsurare a curenţilor de întoarcere prin pămînt. Se poate face o verificare a consumurilor proprii tehnologice calculate prin cele măsurate numai la conductorul de protecţie propriu-zis.

Pentru măsurarea acestui curent s-a utilizat un transformator de curent tip cleşte ampermetric, care, pentru a se micşora erorile, a fost etalonat în laborator în condiţiile de măsurare pe linie. Măsurarea curentului din conductoarele de protecţie s-a realizat cu linia în funcţiune cu luarea măsurilor necesare de protecţie a muncii.

S-au realizat măsurări la o linie de 220 kV, dublu circuit, dar cu un circuit scos din funcţiune, şi rezultatele concordă bine cu cele calculate. Cu linia funcţionînd în gol s-au realizat măsurări pe tronsoanele apropiate de capătul decuplat şi s-a constatat că curenţii obţinuţi prin cuplaj capacitiv în conductoarele de protecţie sînt neglijabili.

S-au realizat măsurări şi pe o linie de 400 kV echipată cu două conductoare de protecţie, dar care avea tronsoane echipate cu conductoare din aluminiu alternînd cu tronsoane din oţel. Valorile măsurate, considerînd o rezistenţă echivalentă obţinută prin înserierea conductoarelor de aluminiu cu cele de oţel, sînt mai mari decît cele calculate. Măsurarea s-a realizat într-o zonă cu conductoare de protecţie din aluminiu. Datorită interinfluenţei dintre tronsoane, nu se poate considera numai rezistenţa conductorului de aluminiu. Dacă s-ar fi considerat numai aceasta, consumurile tehnologice măsurate ar fi fost mai mici decît cele calculate. Echivalarea întregii linii numai cu conductor de protecţie de aluminiu nu este justă, ca şi cea cu înserierea celor două tipuri de tronsoane. Realitatea se găseşte între aceste extreme şi ea concordă cu valorile calculate.

Concluzii

1. Valorile calculate şi cele măsurate ale consumurilor proprii tehnologice în conductoarele de protecţie corespund pentru cazurile la care s-au făcut măsurări.

2. Utilizarea aluminiului în locul oţelului ca conductor de protecţie conduce, pe lîngă cheltuieli de investiţii mai mari, la consumuri proprii tehnologice mult mai mari faţă de cazul utilizării oţelului. Pentru conductoare de oţel de 70 mm^2 şi conductoare de aluminiu-oţel de 160/95 mm^2, raportul este de aproape unu la patru.

3. Pe liniile simplu şi dublu circuit cu un singur conductor de protecţie, consumurile proprii tehnologice în acesta nu reprezintă o importanţă deosebită şi se poate menţine pus la pămînt la fiecare stîlp.

4. Pentru linii tip portal cu conductoare de protecţie legate la pămînt la fiecare stîlp, consumurile proprii tehnologice în acestea sînt importante şi pun problema găsirii altor soluţii de tratare a lor.

5. Curenţii induşi în conductoarele de protecţie prin cuplaj capacitiv din conductoarele active sînt, din punct de vedere practic, neglijabili, importanţă practică prezentînd numai cei induşi prin cuplaj inductiv.

6. Consumurile proprii tehnologice cresc pe măsură ce creşte dezechilibrarea curenţilor de pe fazele active. Dacă curenţii sînt echilibraţi, conductibilitatea solului nu influenţează cu nimic curenţii induşi în conductoarele de protecţie, dar în caz de dezechilibrare conductibilitatea solului devine importantă.

7. Atît în cazul liniilor cu două conductoare de protecţie, cît şi în cazul liniilor cu un singur conductor de protecţie, influenţa transpunerii conductoarelor active asupra consumurilor proprii tehnologice în conductoarele de protecţie este minoră. Se obţine o diminuare a acestora pe o zonă de 5—6 stîlpi de o parte şi de alta a transpunerii.

8. În alegerea soluţiei de legare a conductoarelor de protecţie la stîlpi este necesar să se ţină seamă şi de influenţa liniilor electrice asupra liniilor de telecomunicaţii şi de tensiunile de atingere şi de pas care apar în caz de scurtcircuit nesimetric.

9. Din tabelul 2, pentru sol uscat, în caz de dezechilibrare a curenţilor pe fazele active, tensiunea electromotoare indusă în conductoarele de protecţie este mai mare decît cea pentru sol umed, şi deci şi consumurile proprii tehnologice sînt mai mari, dar această creştere nu prezintă o importanţă practică deosebită.

Bibliografie

[1] Ulianov, S. A. *Regimuri tranzitorii ale sistemelor electrice. Editura tehnică*, Bucureşti, 1967.

[2] Simonyi, K. *Electrotehnică teoretică*. Editura tehnică, Bucureşti, 1974.

(Articol intrat în redacţie la 11 octombrie 1977)

Asupra funcționării surselor de putere reactivă statice și reglabile cu tiristoare

Dr. ing. **Gh. Cîrțină**
și ing. **V. Alexandrescu** *)

Problema compensării puterii reactive și a reglării tensiunii în rețelele electrice rămîne de actualitate datorită implicațiilor complexe pe care le prezintă. Locul compensatoarelor sincrone în acest domeniu este din ce în ce mai limitat, datorită extinderii folosirii condensatoarelor și, mai recent [1], [2], a unor surse statice reglabile, care îmbină o parte din avantajele primelor două. Asemenea surse statice sînt recomandate mai ales cînd graficele de sarcină prezintă variații rapide și neregulate, înlăturînd regimurile tranzitorii periculoase ce apar la folosirea bateriilor de condensatoare. În rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune, acestor surse li se poate încredința și sarcina menținerii tensiunii între anumite limite, în diferite noduri, reglînd în mod corespunzător puterea reactivă [1].

Lucrarea de față analizează funcționarea sursei statice reglabile cu tiristoare la variația sarcinii, a caracteristicilor statice ale acesteia, propunînd, în acest scop, un model matematic adecvat. De asemenea, se propune o soluție economică pentru compensarea regimului deformant.

Funcționarea sursei statice de putere reactivă, reglabilă cu tiristoare

Pentru a obține efectul de reglaj al puterii reactive, sursa (fig. 1) conține, în afara unei baterii de condensatoare, a cărei putere depinde de gradul de compensare impus, k_c, un reactor a cărui putere absolută este în funcție de unghiul de deschidere al tiristoarelor. Astfel, prin variația unghiului de deschidere între $\alpha=0°$ și $\alpha=90°$, puterea sursei reactive variază între zero și, respectiv, valoarea sa maximă. Pentru un unghi de amorsare oarecare, α, tiristorul *1* conduce. Ca urmare, reactanța X_L va fi parcursă de un curent ce poate fi reprezentat ca sumă a două componente: o componentă aperiodică, de valoare $\sqrt{2}I_L \sin\alpha$, considerată constantă pe intervalul de conducție al tiristorului, și o componentă sinusoidală, $\sqrt{2}I_L \sin\theta$, deci

$$i_L = 2I_L(\sin\theta - \sin\alpha) \qquad (1)$$

Acest curent nesinusoidal conține armonica întîi, de amplitudine $\sqrt{2}I_L\left(1-\frac{2\alpha}{\pi}-\frac{\sin 2\alpha}{\pi}\right)$, cum și armonici impare superioare, dintre care cele mai importante sînt a treia și a cincea.

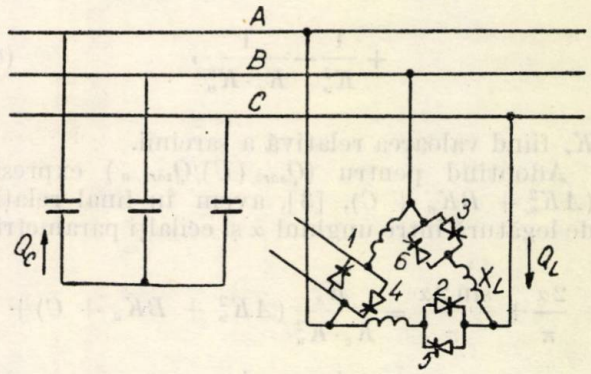


Fig. 1

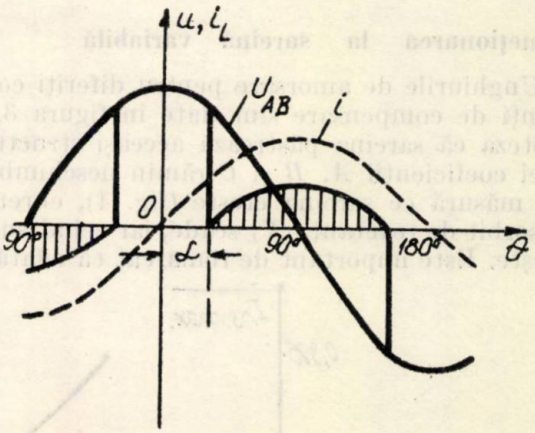


Fig. 2

Puterea reactivă dată de sursă depinde de valoarea lui α,

$$Q_{SR\alpha} = Q_C - Q_{L\alpha}, \qquad (2)$$

unde

$$Q_C = Q_{Cn}\left(\frac{U}{Un}\right)^2 = Q_{Cn}\cdot K_u^2,$$

$$Q_{L\alpha} = Q_{Ln}\cdot K_u^2\left(1-\frac{2\alpha}{\pi}-\frac{\sin 2\alpha}{\pi}\right),$$

iar Q_{Cn} și Q_{Ln} sînt puterile nominale ale bateriei de condensatoare și, respectiv, a reactorului.

Cu aceste notații avem:

$$Q_{SR\alpha} = Q_{Cn}\cdot K_u^2\left(\frac{2\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{\pi}\right), \quad (Q_{Cn}=Q_{Ln}) \qquad (3)$$

Presupunînd că s-a ales un grad de compensare K_c, $(Q_{Cn} = K_c\cdot Q_{sarc.n})$ și că sursa statică

* Dr. ing. Gh. Cîrțină și ing. V. Alexandrescu sînt șefi de lucrări la Catreda electroenergetică, Facultatea de electrotehnică, Institutul politehnic Iași.

va acoperi întreaga putere reactivă a consumatorului ce depășește $(1-K_c)\ Q_{sarc.\,n}$, se obține:

$$\frac{2\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{\pi}=K_s\cdot\frac{1}{K_cK_u^2}\cdot\frac{Q_{sarc.}(U)}{Q_{sarc.\,n}}+$$

$$+\frac{1}{K_u^2}-\frac{1}{K_c\cdot K_u^2}, \qquad (4)$$

K_s fiind valoarea relativă a sarcinii.

Adoptînd pentru $(Q_{sarc.}(U)/Q_{sarc.\,n})$ expresia $(AK_u^2+BK_u+C)$, [3], avem în final relația de legătură între unghiul α și ceilalți parametri:

$$\frac{2\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{\pi}=\frac{K_s}{K_c\cdot K_u^2}(AK_u^2+BK_u+C)+$$

$$+\frac{1}{K_u^2}-\frac{1}{K_c\cdot K_u^2} \qquad (5)$$

Funcționarea la sarcină variabilă

Unghiurile de amorsare pentru diferiți coeficienți de compensare sînt date în figura 3, în ipoteza că sarcina păstrează aceeași structură, deci coeficienții A, B și C rămîn neschimbați. Pe măsură ce sarcina crește (fig. 4), curentul absorbit de reactanța X_L scade, iar cel al sursei crește. Este important de remarcat că odată cu sarcina variază și mărimea armonicilor introduse în rețea. În aceeași figură sînt trasate punctat armonicile *3* și *5* ce rezultă în cazul în care reactorul este comandat cu ajutorul curentului continuu [4]. Dacă în această ultimă situație prezența armonicilor este permanentă, nivelul lor este, în schimb, mai redus. Pentru că nivelul armonicilor depinde de gradul de compensare (fig. 5), un calcul economic riguros ar trebui să țină seama și de costul instalațiilor de filtrare în justificarea puterii unei astfel de surse.

Influența caracteristicilor statice

Este recomandabil să se folosească caracteristicile statice reale obținute prin măsurători, deoarece cele obținute prin metoda sintezei nu sînt satisfăcătoare [3].

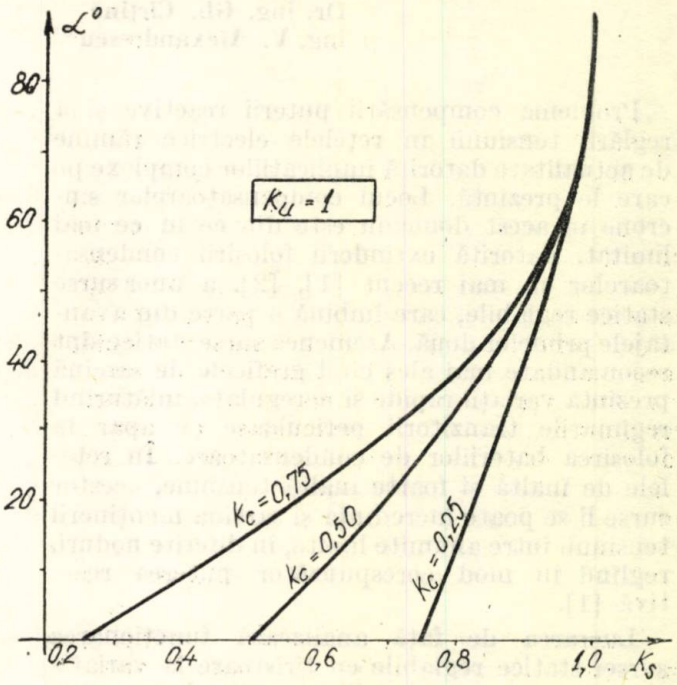


Fig. 3

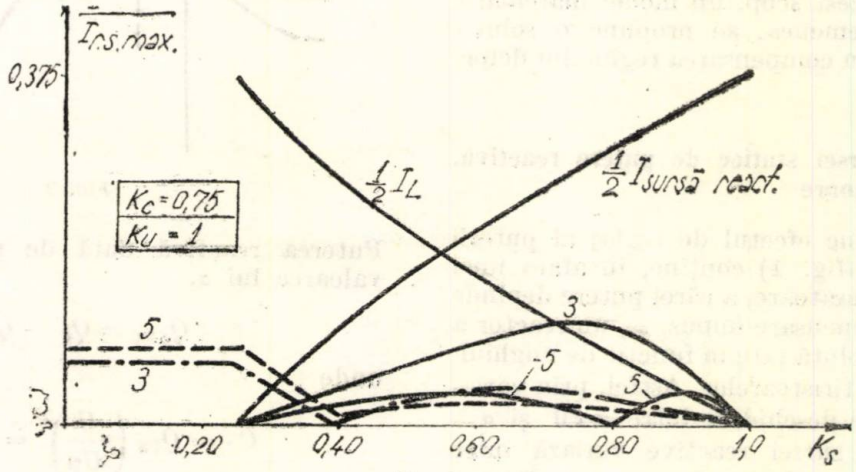


Fig. 4

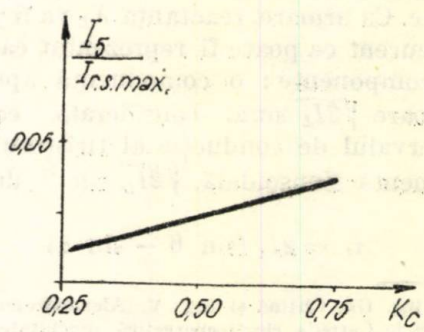


Fig. 5

Figurile 7*a* şi 7*b* prezintă unghiurile de amorsare în funcţie de variaţia tensiunii de alimentare, pentru cele două caracteristici, putere reactivă — tensiune, prezentate în figura 6. Se observă că variaţia lui α este cu atît mai mare cu cît caracteristica respectivă este mai sensibilă la modificarea tensiunii şi cu cît valoarea relativă a sarcinii este mai mare (fig. 8*a*, 8*b*). Pentru cele două caracteristici statice considerate, figurile 9*a* şi 9*b* prezintă armonicile generate de sursa statică, în funcţie de valoarea tensiunii de alimentare. Valorile respective sînt raportate

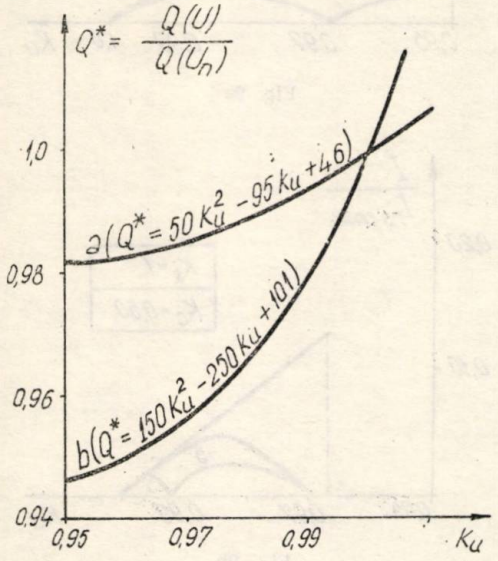


Fig. 6

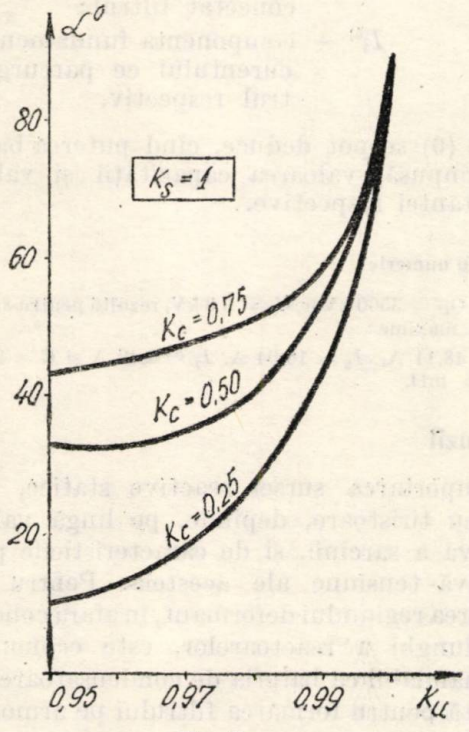


Fig. 7a

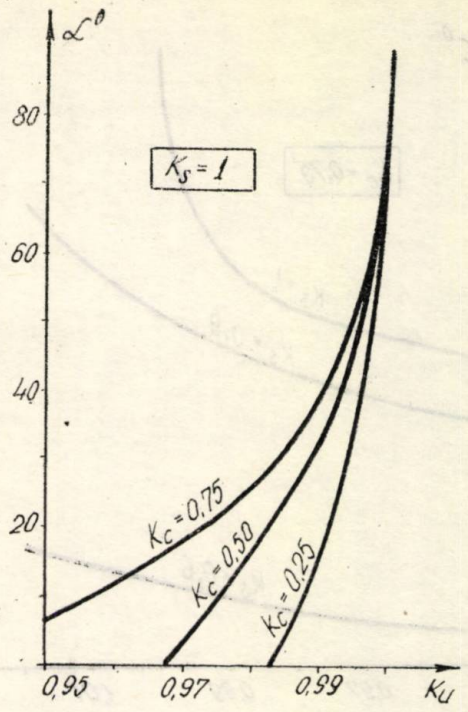


Fig. 7b

la curentul reactiv al sarcinii maxime, $I_{r.s.max}$. Se constată că pentru tensiuni de alimentare identice, armonicile au valori total diferite. De exemplu, pentru $K_u = 0{,}95$, armonicile *3* şi *5* sînt maxime în cazul caracteristicii *a* şi sînt nule pentru caracteristica *b*.

Compensarea regimului deformant

Aşa cum s-a văzut, spectrul şi nivelul armonicilor depind de valoarea relativă a sarcinii, de structura acesteia etc. Prezenţa armonicilor în reţelele electrice nu este dorită, deoarece ele produc creşterea pierderilor, supratensiuni de rezonanţă pe anumite frecvenţe, perturbaţii în reţelele de telecomunicaţii etc. În cazul de mai sus se înregistrează următoarele niveluri maxime, raportate la curentul nominal al bateriei: armonica *3* — 15%, armonica *5* — 5%, armonica *7* — 2%. În cazul în care armonica *7* este mică şi nu există pericolul de rezonanţă în reţea, iar armonica *3* este eliminată datorită conexiunilor în triunghi ale reactoarelor, întreaga baterie poate fi utilizată pentru formarea filtrului de armonică *5*. În felul acesta se evită instalarea unui filtru special pe armonica respectivă, obţinîndu-se, în acelaşi timp, datorită reactanţei de filtrare, îmbunătăţirea regimului tranzitoriu în caz de manevră a bateriei de

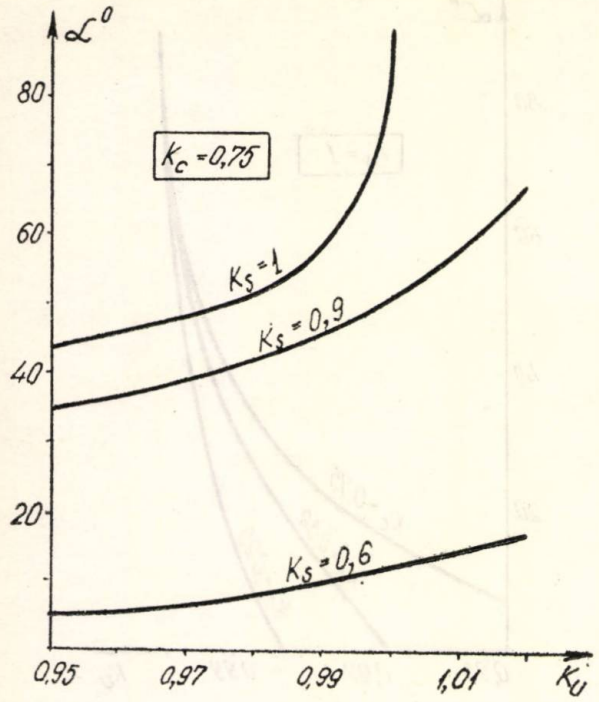


Fig. 8a

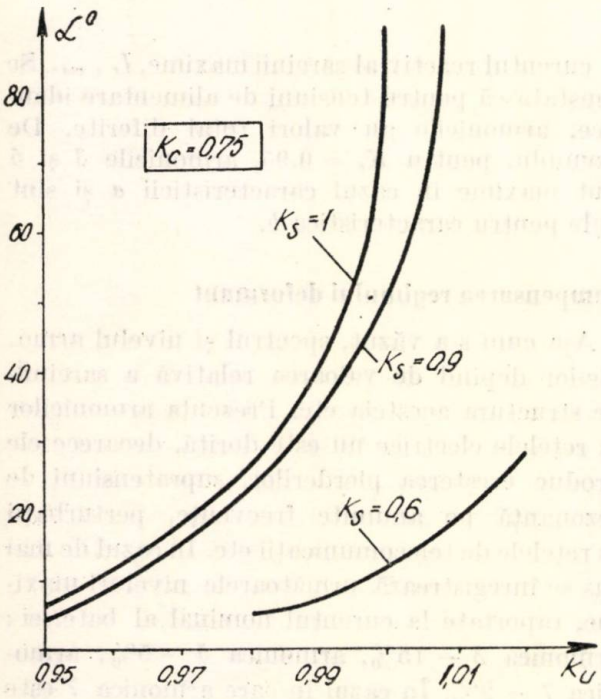


Fig. 8b

condensatoare. Puterea debitată pe fundamentală de filtrul astfel format va trebui să fie egală cu puterea bateriei pe care o înlocuiește [5]:

$$Q_C = Q_1 = \sqrt{3} U_1 I_1^{(5)} = \frac{n^2}{n^2-1} U_1^2 \cdot \omega \cdot C^{(5)},$$

iar

$$5 \cdot \omega \cdot L^{(5)} = \frac{1}{5 \cdot \omega \cdot C^{(5)}}, \quad n = 5, \qquad (6)$$

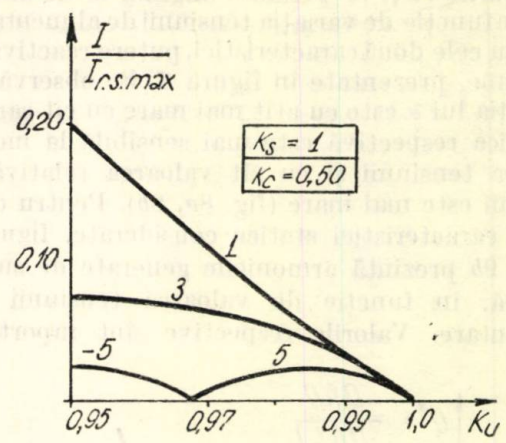


Fig. 9a

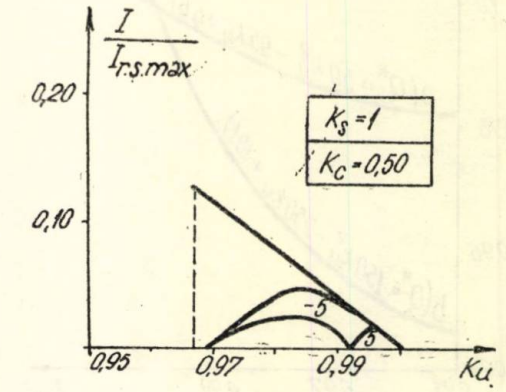


Fig. 9b

unde $U_1 = U_n$ este tensiunea în nodul unde este conectat filtrul;

$I_1^{(5)}$ — componenta fundamentală a curentului ce parcurge filtrul respectiv.

Din (6) se pot deduce, cînd puterea bateriei este impusă, valoarea capacității și valoarea inductanței respective.

Exemplu numeric

Dacă Q_C = 3500 kVar, U_n = 6,3 kV, rezultă pentru armonici valorile maxime:

I_3 = 48,11 A, I_5 = 16,04 A, I_7 = 6,42 A și C = 270 μF, L = 1,5 mH.

Concluzii

Comportarea sursei reactive statice, reglabilă cu tiristoare, depinde, pe lîngă valoarea relativă a sarcinii, și de caracteristicile putere reactivă- tensiune ale acesteia. Pentru compensarea regimului deformant, în afara conectării în triunghi a reactoarelor, este economic și recomandabil ca bateria de condensatoare să fie folosită pentru formarea filtrului pe armonica a cincea.

Bibliografie

[1] Herst, W. ş.a. *Compensateur statique et réglable de puissance réactive, pour réseaux à haute tension.* În : Rev. Brown Boveri, nr. 9/10, 1974, p. 433—439.

[2] Hudeakov, V. V. ş.a. *Upravliaemii staticeskii istocinik reaktivnoi moşcinosti.* În : Elektricestvo, nr. 1, 1969, p. 29—35.

[3] Ivaşcu, C. *Caracteristicile statice ale sarcinii.* Încercări efectuate în judeţul Timişoara. În : Energetica, 21, nr. 7, 1973, p. 343—348.

[4] Poeată, A., Cîrţină, Gh. şi Alexandrescu, V. *Instalaţie statică reglabilă de putere reactivă.* În : Energetica, 19, nr. 3, 1971, p. 131—133.

[5] Arie, E., Nicolae, P. şi Cristea, H. *Compensarea regimului deformant la instalaţiile de redresare echipate cu baterii de condensatoare.* În : Studii şi cercetări de energetică, A, nr. 2, 1963, p. 259—277.

(Articol intrat în redacţie la 30 martie 1977)

Tendinţe actuale în evoluţia surselor de lumină în contextul politicii de economisire a energiei electrice

Conf. dr. ing. **Paul Dinculescu**
şi asist. ing. **Mihai Popescu** *)

Aşa cum se subliniază într-un raport al Comisiei Internaţionale de Iluminat [1], consumul de energie pentru iluminat reprezintă cel mult 20 %din consumul total de energie electrică. Într-adevăr, datele statistice arată că consumul de energie electrică în instalaţiile de iluminat reprezintă circa 8% în Elveţia [2], 11% în Franţa, 12,5% în Anglia, 12% în R. P. Polonă, 14 % în R. S. F. Iugoslavia, 20 % în S.U.A. [3]. Avînd în vedere că în majoritatea ţărilor producerea energiei electrice solicită 15—25 % din consumul total de energie, rezultă că iluminatului electric îi revine 2—5% din energia consumată sub diverse forme. Cu toate că pentru iluminat se consumă o parte relativ mică din energia totală produsă, *folosirea ei în instalaţiile de iluminat trebuie să fie raţională.*

Iluminatul electric constituie una dintre cele mai „vizibile" forme de consum al energiei, ceea ce a făcut ca o primă reacţie la apariţia crizei de energie să fie reducerea nivelurilor de iluminare, de regulă la jumătate şi uneori chiar mai mult, prin reducerea numărului de surse de lumină. Această măsură a fost luată fără o analiză ştiinţifică fundamentată, fapt confirmat de studiile ulterioare efectuate atît de specialiştii din fiecare ţară, cît şi de organismele internaţionale de specialitate.

Aşa, de exemplu, reducerea cu 50% a corpurilor de iluminat în iluminatul public din Anglia a adus în anii 1973—1974 o economie de energie electrică în valoare de 0,1 milioane lire sterline. În acelaşi timp, numărul accidentelor rutiere a crescut cu 12% faţă de anul precedent, echivalînd cu pierderi de 2—4 milioane lire sterline [4]. În decurs de 3 luni (decembrie 1973 — martie 1974), măsurile luate pentru limitarea consumului de energie electrică în iluminatul public au adus o economie de energie de circa 0,4% din consumul total de energie în Anglia [5].

Reducerea *neştiinţifică* a nivelelor de iluminare în instalaţiile interioare duce la scăderea productivităţii muncii în industrie, la înrăutăţirea protecţiei muncii [6].

Studiile efectuate în diverse ţări au dus la concluzia unanimă că cea mai importantă cale de economisire a energiei electrice consumate pentru iluminat este perfecţionarea şi folosirea surselor de lumină cu eficacitate luminoasă mare.

Pe baza unor astfel de studii [7] a rezultat că înlocuirea în iluminatul public a lămpilor cu incandescenţă prin lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune, sau a lămpilor cu vapori de mercur de înaltă presiune cu lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune are drept efect o economie de energie de 10—56%, obţinîndu-se, în acelaşi timp, o creştere a nivelului de iluminare (tabelul 1).

Tabelul 1

Lampă existentă		Lampă înlocuitoare		Economie de energie [%]	Creşterea E [%]
Tip	P [W]	Tip	P [W]		
Lampă cu incandescenţă	100	Lampă cu vapori de mercur	80	37	62
	300		125	52	28
	500		250	47	57
	750		400	42	75
	1000		400	56	25
Lampă cu vapori de mercur	400	Lampă cu vapori de sodiu	250	37	—
	400		310	22	38
	400		360	10	59
	700		400	43	14
	1000		600	40	22

Dezvoltarea surselor de lumină reprezintă un proces care s-a desfăşurat în salturi în decursul anilor. Salturile s-au datorat ideilor noi, materializate în crearea de noi tipuri sau de noi generaţii de lămpi şi au fost urmate de perioade de evoluţie lentă, de mai mulţi ani, de perfecţionări tehnice şi tehnologice corespunzătoare implementării industriale a noilor realizări.

În figura 1 este reprezentată evoluţia în timp a eficacităţii luminoase a lămpilor electrice folosite în tehnica iluminatului, considerată în valori medii pentru seriile de lămpi standard [8]. Se observă salturile manifestate prin introducerea în fabricaţie a noilor tipuri de lămpi : lămpile cu incandescenţă cu filament din wol-

*) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic Bucureşti.

fram (1910), lămpile cu vapori de sodiu de joasă presiune (1931), lămpile cu vapori de mercur de înaltă presiune (1933), lămpile cu vapori de mercur de joasă presiune (1936), lămpile cu incandescență cu halogeni (1960), lămpile cu halogenuri metalice (1964), lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune (1965).

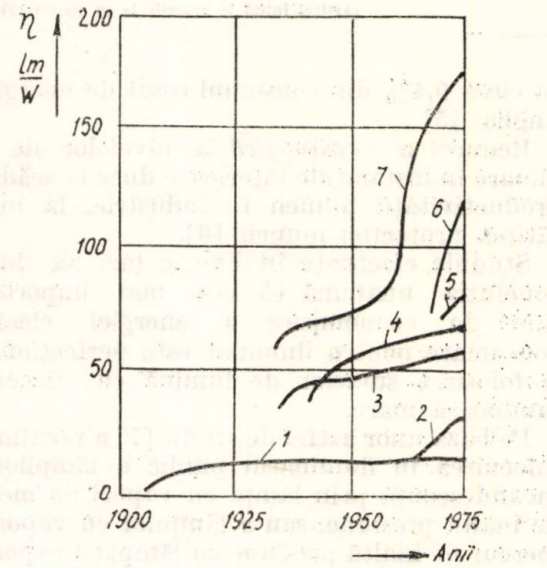


Fig. 1

1 — lămpi cu incandescență; *2* — lămpi cu incandescență cu halogeni; *3* — lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune; *4* — lămpi cu vapori de mercur de joasă presiune; *5* — lămpi cu halogenuri metalice; *6* — lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune; *7* — lămpi cu vapori de sodiu de joasă presiune.

Avînd în vedere cerințele de exploatare, aprecierea unei surse de lumină trebuie făcută luînd în considerare simultan mai mulți parametri, cei mai importanți fiind eficacitatea luminoasă, durata și redarea culorilor obiectelor iluminate, la care se adaugă gabaritul, adaptarea la sistemele optice ale corpurilor de iluminat și costul.

Producția de *lămpi cu incandescență* se menține pe plan mondial la valori relativ ridicate, dată fiind folosirea lor cu precădere în iluminatul casnic, datorită avantajelor legate de gabaritul redus, costul mic, exploatarea comodă (conectare simplă la rețea) și redarea corectă a culorilor. Datorită eficacității luminoase reduse (13—14 lm/W), aceste lămpi reprezintă surse de lumină neeconomice, motiv pentru care se renunță din ce în ce mai mult la utilizarea lor în iluminatul exterior, industrial, al clădirilor administrative. Deși noile lămpi cu incandescență cu halogeni au eficacitate luminoasă pînă la 30 lm/W și o durată dublă, ele se folosesc în principal în scopuri speciale (iluminat exterior, în aparatele de proiecție, în instalațiile de iluminat din studiouri fotografice, cinematografice și de televiziune, la farurile de automobile etc.), deoarece folosesc filamente de diametru mare, iar la tensiunea normală a rețelei nu se justifică economic crearea de lămpi de putere mică. În același timp, costul mare nu este compensat de economia în exploatare, ceea ce împiedică folosirea lor pentru iluminatul general.

Limita teoretică a eficacității luminoase a lămpilor cu incandescență (~51 lm/W) corespunde unei temperaturi a filamentului de 3585 K (98% din temperatura de topire a wolframului). Pentru a realiza o durată acceptabilă la această temperatură, ar fi necesară o presiune foarte mare a unui gaz de umplere cu o greutate moleculară mare (imposibil de obținut în prezent). Parametrii-limită obținuți în condițiile tehnologice existente aparțin unei lămpi de 350 W la tensiunea de 30 V care are eficacitatea luminoasă de circa 41 lm/W și durata 25 ore, lampa fiind realizată cu diametrul firului de wolfram de 0,3 mm, într-un tub de cuarț (diametrul de 13,5 mm și lungimea de 50 mm), în interiorul căruia gazul de umplere are presiunea de 30 atmosfere [9].

Pe măsura perfecționării celorlalte tipuri de lămpi, interesul pentru lămpile cu incandescență destinate iluminatului este în scădere.

Din figura 1 rezultă că lămpile cele mai economice din punctul de vedere al consumului de energie electrică sînt lămpile cu descărcare în vapori metalici. Pentru aceste lămpi, problema eficacității luminoase îmbracă un dublu aspect: eficacitatea luminoasă intrinsecă a lămpii și eficacitatea luminoasă a ansamblului lampă-balast, aceasta din urmă fiind determinată de consumul de energie în balast. În cele ce urmează se vor face referiri numai la eficacitatea luminoasă a lămpilor.

Perfecționarea *lămpilor cu vapori de mercur de joasă presiune* (denumite, în mod curent, *lămpi fluorescente*) vizează în principal trei aspecte, și anume: a) creșterea eficacității luminoase, concomitent cu redarea corectă a culorilor; b) creșterea duratei; c) reducerea gabaritului lămpii și al dispozitivelor auxiliare.

Deși ridicarea eficacității luminoase este rezultatul optimizării mai multor parametri — printre care se pot enumera presiunea și compoziția mediului de descărcare (mercur și gaz auxiliar), reducerea pierderilor la electrozi, creșterea randamentului energetic al coloanei de descărcare — se poate afirma că cele mai importante rezultate se obțin prin îmbunătățirile aduse luminoforilor. Dintre acestea, metodele tradiționale de creștere a randamentului cuantic și a stabilității luminoforilor rămîn puțin eficiente, parametrii respectivi ajungînd în prezent aproape de limita teoretică. Este posibil ca cercetările asupra așa-numiților luminofori antistookes (capabili să transforme în radiație vizibilă nu numai radiațiile ultraviolete, ci și cele infraroșii) să mai aducă un plus de eficiență [10].

Efectul principal în creșterea eficacității luminoase a lămpilor îl are optimizarea spectrului

de radiație a luminoforilor. Ținînd seama de curba eficacității luminoase relative spectrale $V(\lambda)$, se pot distinge două cazuri limită :

— eficacitatea luminoasă are valoarea maximă în cazul în care radiația lămpii este concentrată în jurul lungimii de undă 555 nm — pentru care $V(\lambda) = 1$; redarea culorilor este, în acest caz, nesatisfăcătoare ;

— spectrul continuu al radiatorului integral asigură o foarte bună redare a culorilor ($R_a = 100$), dar eficacitatea luminoasă este redusă deoarece $V(\lambda) \approx 0{,}37$.

Spectrul luminoforilor existenți ocupă o poziție intermediară între aceste cazuri extreme. Analizînd corelația între $V(\lambda)$ și R_a, rezultă că lămpile fluorescente normale cu o foarte bună redare a culorilor, avînd $R_a > 85$, au $V(\lambda) \leqslant 0{,}4$ și deci eficacitate luminoasă relativ mică, în timp ce la lămpile cu redare mai proastă a culorilor ($R_a < 75$) eficacitatea luminoasă este mai mare, deoarece $V(\lambda) \geqslant 0{,}45$. Această corelație, considerată multă vreme ca insolubilă, și-a găsit rezolvarea în ultimii ani, studiile teoretice arătînd că, în locul unui spectru continuu, o foarte bună redare a culorilor poate fi obținută pe cale aditivă, printr-o anumită combinație a trei benzi înguste de radiație a luminoforilor, situate în zonele maximelor curbelor $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ în sistemul colorimetric al Comisiei Internaționale de Iluminat (la $\lambda \approx 450, 500, 610$ nm).

Pornind de la această idee, au fost creați luminofori cu benzi de radiație înguste, pe baza unei compoziții principial noi — așa-numiții aluminați ai metalelor alcalino-pămîntoase, activați cu europiu (radiație albastră, $\lambda_{max} \approx 450$ nm) și terbiu (radiație verde, $\lambda_{max} \approx 500$ nm), iar ca luminofor cu radiație în domeniul roșu s-a folosit luminoforul cunoscut, oxidul de ytriu (tabelul 2) [11].

Tabelul 2

Formula luminoforului	λ_{max} [nm]	η_c
$BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu^{2+}$	452	1,0
$CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$	543	0,8
$Y_2O_3 : Eu^{3+}$	611	0,95—1,0

Varierea raportului acestor componente în stratul de luminofor din lampă permite varierea în limite largi a temperaturii de culoare, menținînd eficacitatea luminoasă ridicată (la nivelul lămpilor cu halofosfați) și un index de redare a culorilor suficient de mare (la nivelul lămpilor „de lux"), așa cum rezultă din tabelul 3.

Lămpile sînt fabricate de firmele Philips (sub denumirea TL-H/80(84), Range 80), Osram (Lumilux), Westinghouse, pentru gama de puteri obișnuită (20, 40, 65 W), în construcție normală (clasică).

Tabelul 3

T_c [K]	η [lm/W]	Ra
2500	82,5	83
3000	82,0	84
4000	79,5	85
6500	80,0	80

Deși costul este încă ridicat, datorită luminoforilor, lămpile cu amestec „tricromatic" de luminofori pot fi considerate economice deoarece eficacitatea luminoasă este cu 60% mai mare decît la lămpile „de lux". Folosirea noilor lămpi permite să se obțină o economie de energie pînă la 30%, la același nivel de iluminare, față de lămpile normale. Există premise ca în viitor, prin studii teoretice și perfecționări tehnologice, prețul luminoforilor să scadă, eficacitatea luminoasă să crească (ajungînd pînă la 130 lm/W), iar indexul de redare a culorilor să se mențină la valori ridicate ($R_a > 92$) [12].

În figura 2 este reprezentată corelația între eficacitatea luminoasă și indexul de redare a culorilor pentru lămpile produse de firma Philips [13].

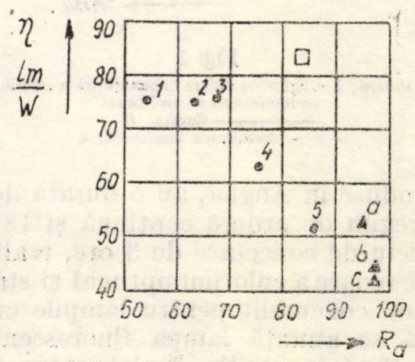


Fig. 2

● lămpi standard cu luminofori „clasici" (halofosfat de calciu) : *1* — warm white ; *2* — white ; *3* — daylight ; *4* — natural ; *5* — warm white de-luxe ; Δ lămpi cu redare îmbunătățită a culorilor : *a* — colour matching ; *b* — soft tone ; *c* — true colour ;
□ noile lămpi TL-H/84

Efectul economic al utilizării noilor lămpi, ca de altfel și în cazul lămpilor standard, ar putea diminua în cursul funcționării dacă temperatura în zona de dispunere a lămpilor depășește valorile corespunzătoare maximului eficacității luminoase ($\theta_a = 18—22°C$, $\theta_{tub} = 40°C$), ceea ce se întîmplă frecvent la corpurile de iluminat închise, pentru condiții grele de lucru, la corpurile de iluminat cu dispersoare sau la corpurile de iluminat cu mai multe lămpi și grătar (la care $\theta_a > 40°C$). Pentru a preîntîmpina acest lucru, se introduce în lampa de construcție normală, în locul mercurului, amalgam de indiu (InHg), care micșorează presiunea vaporilor de mercur și lărgește intervalul de temperatură optimă, deplasîndu-l în sus. Pe această bază s-au rea-

lizat lămpile firmei Osram (R.F.G.), la care $\theta_{a\ opt} = +35°C$ ($\theta_{tub} = 96°C$), iar la $\theta_a = +60°C$ scăderea fluxului luminos faţă de valoarea corespunzătoare optimului este de numai 3%, în timp ce la lămpile obişnuite scăderea este de 30% [14]. Lămpi similare produce şi firma Mazda (Franţa), sub denumirea PRESTIFLUX, cu luminofori noi [15].

Durata lămpilor fluorescente a cunoscut în ultimele decenii o evoluţie mereu ascendentă, ajungînd la 20 000 ore.

Figura 3 redă evoluţia în timp a eficacităţii luminoase şi a duratei lămpilor fluorescente de 40 W fabricate în S.U.A. [16]. Lămpile Veri-

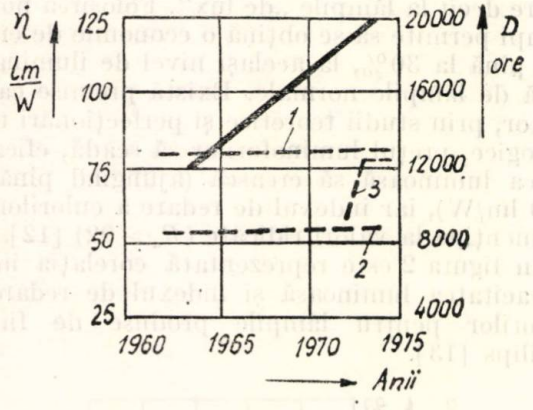


Fig. 3

1 – lămpi standard; *2* – lămpi cu redare îmbunătăţită a culorilor; *3* – lămpi cu luminofori cu trei benzi.
——— durata, D
– – – eficacitatea luminoasă, η

flux, produse în Anglia, au o durată de 34 000 ore în regim de ardere continuă şi 18 000 ore la un ciclu de conectare de 3 ore, realizînd un index de redare a culorilor optimal şi stabil[17].

Un nou concurent pentru lămpile cu incandescenţă se anunţă lampa fluorescentă compactă, aflată în stadiu de laborator la firma Philips (Olanda). Lampa este realizată cu tub de diametru 25 mm, îndoit în formă de U, avînd distanţa între electrozi de 20 cm. Eficacitatea luminoasă a lămpii (40 lm/W), de 3 ori mai mare decît cea a unei lămpi cu incandescenţă similare ca dimensiuni şi putere (12,5 lm/W), se obţine prin introducerea în tub a unei mici cantităţi de vată de sticlă, care face să crească căderea de tensiune pe lampă [18]. Reducerea lungimii are, concomitent, un efect economic suplimentar prin scăderea consumului de luminofor, care, aşa cum s-a arătat, are un cost ridicat. De remarcat că folosirea vatei de sticlă la lămpile fluorescente de lungime normală ar permite dublarea puterii, menţinîndu-se practic eficacitatea luminoasă [19].

Realizarea de lămpi fluorescente de formă inelară oferă noi perspective de introducere a lor în iluminatul locuinţelor. Astfel, lămpile cu incandescenţă de 50, 100, 150 W pot fi înlocuite cu lămpi fluorescente de 32 W ($\eta = 54$ lm/W, $D = 12\,000$ ore), cu balast realizat cu semiconductoare, montat în corpul de iluminat şi care permite reglarea fluxului luminos în anumite limite [20].

Calea perfecţionării lămpilor fluorescente este încă deschisă. Informaţii recente [29] se referă la un nou tip de lampă fluorescentă de construcţie principial nouă. Lampa LITEK, pregătită a intra în fabricaţie la firma Lighting Technology Corporation (S.U.A.), este o lampă fără electrozi, cu un singur soclu cu filet şi cu balon în formă de pară, similar cu cel al lămpii cu incandescenţă de 100 W, în interiorul căruia se găseşte o bobină alimentată de la un generator compact de înaltă frecvenţă (4 MHz), montat în soclu. Cîmpul magnetic alternativ creat de bobină excită vaporii de mercur aflaţi în balon, dînd naştere la o radiaţie în domeniul ultraviolet, transformată apoi în radiaţie vizibilă de către stratul de luminofor depus pe suprafaţa interioară a balonului. Lampa nu necesită starter şi balast şi se poate monta într-o dulie obişnuită. Eficacitatea luminoasă a lămpii este apropiată de cea a lămpilor fluorescente obişnuite, iar durata atinge 24 000 ore. Costul foarte ridicat, pentru început, al lămpii (circa 7 dolari) este compensat de un consum de energie de 3 ori mai mic decît la o lampă cu incandescenţă şi de durată mare, determinată de lipsa elementelor supuse uzurii (în special electrozii). Balonul şi gazul de umplere pot fi schimbate, pe măsura îmbătrînirii (îndeosebi a luminoforului), restul elementelor rămînînd în funcţiune. Realizarea la scară industrială a acestor lămpi va reprezenta cel mai serios concurent al lămpilor cu incandescenţă. Se apreciază că, dacă toate lămpile cu incandescenţă din S.U.A. ar fi înlocuite cu noile lămpi, s-ar realiza o economie zilnică de 80 000 tone petrol necesar producerii de energie electrică.

Deşi eficacitatea luminoasă a *lămpilor cu vapori de sodiu de joasă presiune* a atins valorile cele mai ridicate pentru lămpile de serie (133—178 lm/W), iar la exemplarele de laborator depăşeşte 200 lm/W, aceasta reprezintă singurul lor avantaj, căruia i se opun o serie de dezavantaje importante. Primul dezavantaj este redarea nesatisfăcătoare a culorilor, motiv pentru care utilizarea lor este limitată la unele domenii ale iluminatului exterior. La aceasta se adaugă creşterea continuă, în procesul de ardere, a puterii absorbite (pînă la 140% din puterea nominală), pierderile mari în dispozitivele auxiliare (17,5—60% la tipurile recente), factorul de putere scăzut (0,27 — 0,35, necesitînd condensatoare de capacităţi mari, 20 — 40 μF, pentru compensare), gabarit, greutate şi consum de materiale mari ale dispozitivelor auxiliare — conducînd la cel mai ridicat cost al ansamblului pe unitatea de flux luminos — , dificultatea realizării de corpuri

de iluminat adecvate — datorită dimensiunilor mari ale corpului luminos și luminanței reduse—, putere unitară relativ mică.

Lămpile cu descărcare în vapori de mercur la înaltă presiune cu luminofor continuă să fie utilizate mai ales în instalațiile de iluminat exterior, unde constituie sursa principală, înlocuind lămpile cu incandescență, dar și în iluminatul industrial în halele înalte. Folosirea noilor luminofori, pe bază de vanadat de ytriu activat cu europiu, a permis, pe baza creșterii „raportului de roșu", creșterea indexului de redare a culorilor R_a pînă la 50, reducerea temperaturii de culoare T_c pînă la 3500 K și creșterea eficacității luminoase η cu 10%, atingînd, la firmele avansate, valori de 55—60 lm/W [21]. Firmele Osram (R.F.G.), Philips (Olanda), Mazda (Franța) produc lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune cu lumină albă „de lux" (cu raport mare de roșu 16—17%), destinate în special pentru iluminatul interior al clădirilor. Deși, de regulă, eficacitatea luminoasă este mai mică (44—54 lm/W, în funcție de putere) decît la lămpile standard, folosirea de noi luminofori a permis chiar să se depășească valorile respective [22], [23].

Dintre lămpile cu descărcare în vapori metalici, *lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune* reprezintă nu numai cea mai recentă realizare la scară industrială, dar și una din cele mai eficace surse de lumină din punctul de vedere al economisirii energiei electrice ($\eta = 90 - 120$ lm/W), bucurîndu-se, în același timp, de avantajele unui gabarit relativ redus, în care este concentrată o putere relativ mare ($P = 250—1000$ W) și unei durate mari. Dezavantajul redării satisfăcătoare a culorilor ($R_a = 20—25$) limitează însă domeniul de folosire a acestor lămpi cu precădere la iluminatul public, al triajelor, șantierelor de construcții, halelor industriale înalte în care nu se desfășoară o activitate vizuală intensă etc. Costul lămpilor este foarte ridicat, mai ales dacă se ține seama de costul dispozitivelor auxiliare, motiv pentru care, în anumite cazuri, lămpile sînt mai puțin economice decît lămpile cu vapori de mercur de înaltă presiune, a căror eficacitate luminoasă este de 2—2,5 ori mai mică. Datorită faptului că aceste lămpi sînt încă la începutul stadiului de dezvoltare, se întrevăd posibilități pentru perfecționarea lor.

Una dintre direcțiile principale în dezvoltarea lămpilor cu vapori de sodiu de înaltă presiune vizează folosirea lor în corpurile de iluminat construite pentru lămpile cu vapori de mercur de înaltă presiune, cu utilizarea aceluiași balast. Aceasta implică, mai întîi, rezolvarea problemei aprinderii lămpii fără utilizarea unui dispozitiv de aprindere (igniter) exterior. Reducerea tensiunii de aprindere se realizează folosind pentru umplerea tubului de descărcare, în loc de xenon, un amestec de neon și argon (0,1—1% Ne), în care este posibil efectul Penning (ionizarea atomilor de argon prin ciocniri cu atomii metastabili ai neonului [24]. În plus, se folosesc fie electrozi suplimentari, montați în exteriorul tubului de descărcare [25], [26], fie un igniter încorporat [22]. În vederea adaptării la sistemul optic al corpului de iluminat, balonul exterior este elipsoidal și prevăzut cu un strat difuzant.

Altă direcție de dezvoltare are în vedere utilizarea lămpilor cu sodiu în instalațiile de iluminat unde nu sînt necesare fluxuri luminoase prea mari și o redare prea bună a culorilor (iluminatul străzilor secundare sau iluminatul interior în încăperi cu înălțimi mici). În acest scop, s-au realizat lămpi de puteri mai mici, cu eficacitate luminoasă mai redusă, cum sînt lămpile firmelor Philips (Olanda) — SON-50 (50 W, 65 lm/W), SON—70 (70 W, 82 lm/W), SON—100 (100 W, 85 lm/W) [27]— și General Electric (S.U.A.) — 100 W (95 lm/W), 150 W (107 lm/W) [28].

Perfecționarea lămpilor cu sodiu de înaltă presiune este posibilă și prin găsirea de noi materiale pentru tubul de descărcare. Utilizarea oxidului de aluminiu monocristalizat produs de firma Corning Glass Works (S.U.A.), sub denumirea de Corstar [29], permite creșterea eficacității luminoase a lămpii cu 10% și creșterea duratei.

O mare perspectivă în tehnica iluminatului o au *lămpile cu halogenuri metalice*, capabile să realizeze îmbinarea avantajelor tuturor celorlalte tipuri de lămpi: eficacitate luminoasă mare, redare bună a culorilor, gabarit redus la puteri unitare mari, pulsație redusă a fluxului luminos. În figura 4 [30] sînt concentrate caracteristicile și etapele de dezvoltare a lămpilor cu halogenuri metalice, în ordinea producerii lor, grupate în trei clase: A — lămpi pentru utilizări generale, B — lămpi cu arc scurt, C — lămpi experimentale, cu indicarea elementelor sau combinațiilor a căror radiație este utilizată.

Se remarcă prezența lămpilor „moleculare", care folosesc radiația moleculelor nedisociate (de exemplu, moleculele de SnI, SnCl, SnBr) și sînt caracterizate printr-un spectru apropiat de cel solar, permițînd o redare foarte bună a culorilor.

Lămpile cu halogenuri metalice necesită, de obicei, o tensiune mare pentru aprindere, ceea ce reclamă prezența unui igniter. Cercetările în vederea reducerii tensiunii de aprindere continuă. Un patent japonez, publicat în anul 1975, se referă la realizarea unor lămpi care conțin un gaz inert (Ar + 0,1 — 10% Ne), vapori de mercur și ioduri de sodiu, indiu și taliu, la care tensiunea de aprindere nu depășește 180 V după 6000 ore de funcționare, ceea

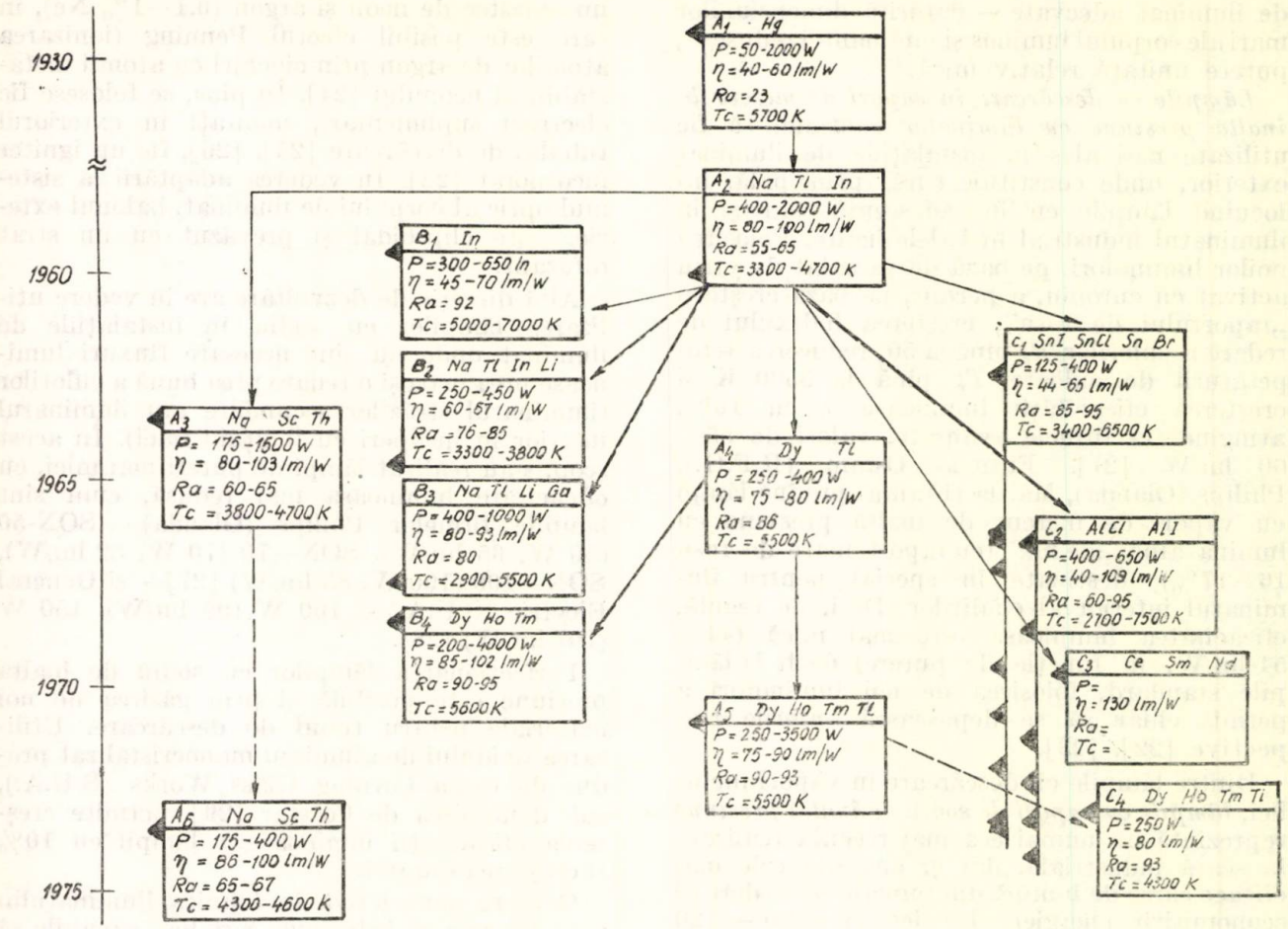


Fig. 4

Tabelul 4

	Lămpi cu incandescență	Lămpi cu lumină mixtă	Lămpi fluorescente			Lămpi cu vapori de mercur de IP cu vanadat de ytriu	Lămpi cu vapori de sodiu de IP	Lămpi cu halogenuri metalice		Lămpi cu vapori de sodiu de JP
			alb lumina zilei de lux	alb cald	cu amestec de trei luminofori			cu halogenuri de lantanide	cu Na-Tl-I- sau Na-Sc	
η [lm/W]	12—18	20—32	50	80	80—82	54—59	90—120	73—85	85—100	133—178
T_c [K]	2850	3600	6500	3000	2500—6500	4100	2100—2300	5500—6000	3800—5500	
R_a	100	58	85	55	80—85	50	21—28	90	68	

ce permite utilizarea unui balast obișnuit de la lămpile cu vapori de mercur de înaltă presiune [31].

În țările socialiste, lămpile cu halogenuri metalice se produc curent în întreprinderile Svetotehnika (U.R.S.S.), Polam (R.P. Polonă), Narva (R.D.G.), Tungsram (R.P. Ungară), Tesla (R.S. Cehoslovacă).

Tabelul 4 prezintă comparativ principalele caracteristici ale lămpilor utilizate în prezent în tehnica iluminatului.

Concluzii

Ținînd seama de necesitatea economisirii energiei concomitent cu realizarea unui iluminat de calitate, care să servească în cea mai mare măsură desfășurării activităților în cele mai diverse domenii, industria constructoare de lămpi din țara noastră ar putea să-și intensifice preocupările în următoarele direcții:

— perfecționarea lămpilor fluorescente, prin utilizarea noilor tipuri de luminofori;

— diversificarea tipurilor de lămpi fluorescente, prin realizarea de lămpi inelare sau în formă de U, capabile să fie folosite în iluminatul locuințelor;

— producerea de lămpi cu halogenuri metalice, destinate atît iluminatului exterior cît și iluminatului industrial interior.

Bibliografie

[1] * * * *Bull. CIE*, nr. 29, 1975.
[2] * * * *Bull. Schweiz.* Electrotechn. Ver. 67, nr. 7, 1976, p. 329.
[3] * * * Svetotehnika, nr. 1, 1976, p. 4.
[4] Austin, B. R. *Traffic Eng. and Contr.*, 17, nr. 6, 1976, p. 262—263.
[5] * * * *Luce*, 14, nr. 1, 1975, p. 33—34.
[6] Hentschel, H.J. *Lichttechnik*, 27, nr. 7, 1975, p. 284—289.
[7] Dorrington, J. W. *Public Light.*, 40, nr. 168, 1975, p. 6—11.
[8] Cayless, M.A. *Electr. Eng.* 53, nr. 3, 1976, p. 18—20.
[9] Scheuer, G. *Maschinenmarkt*, 81, nr. 13, 1975, p. 202—205.
[10] * * * *Lichttechnik*, 27, nr. 11, 1975, p. 420, 422.
[11] Verstegen, J.M.P.J. *Light. Res. and Technol.*, 6, nr. 1, 1974, p. 31—32.
[12] Verstegen, J.M.P.J. *Light. Des. and Appl.*, 4, nr. 6, 1974, p. 29.
[13] Szabó, J. *Tungsram techn. Mitt.*, nr. 25, 1975, p. 1089—1098.
[14] Hofman, D. şi Rasch, E.G. Techn.-wiss. Abh. Osram-Ges., nr. 11, 1973, p. 106—119.
[15] * * * *Mazda contact*, nr. 142, 1976, p. 12—14.
[16] Kulakov, I.A. *Svetotehnika*, nr. 6, 1975, p. 22—28.
[17] * * * *Electr. Eng.* 53, nr. 2, 1976, p. 29.
[18] * * * *Lichttechnik*, 28, nr. 5, 1976, p. 235—236.
[19] * * * *VDI-Nachr.*, 30, nr. 109, 1976, p. 11.
[20] Dale, E.A., Ulrich, F.T şi Morris, J.C. *Light. Des. and. Appl.* nr. 6, 1976, nr. 3, p. 18—22.
[21] Kühl, B. *Lichttechnik*, 28, nr. 4, 1976, p. 160—162.
[22] * * * *Mazda contact*, nr. 143, 1976, p. 14—23.
[23] Günter, M. *VDI-Nachr.* 30, nr. 23, 1976, p. 22.
[24] Cohen, S. şi Richardson, D.J. Illum. Eng. Soc., 4, nr. 4, 1975, p. 279.
[25] Günter, M. *Lichttechnik*, 28, nr. 7, 1976, p. 289—292.
[26] Collins, B.R. şi Mc Vey, C.I. *Light. Des. and Appl.*, 5, nr. 9, 1975, p. 18—24.
[27] Günter, M. *VDI-Nachr.*, 30, nr. 28, 1976, p. 2.
[28] Collins, B.R., Smyser, W. E. şi Suter, J.T. *Light. Des. and Appl.*, 5, nr. 4, 1975, p. 30—36.
[29] * * * Electr. Times, 6, nr. 4370, 1976.
[30] Kühl, B. şi Dobrusskin, A. *Light. Des. and Appl.*, 5, nr. 9, 1975, p. 2—10.
[31] * * * *Pat. Jap.* cl. 93D221 (H 01 J 61/20), nr. 50—27678, publ. 9.09.75.

(Articol intrat în redacţie la 30 iunie 1977)

Influenţa preasamblării furniturii termomecanice asupra eficienţei lucrărilor de montaj

Dr. ing. **A. Măcriş**
şi ing. **H. M. Tănase** *)

Analizînd experienţa acumulată în activitatea de construcţii-montaj — specifică instalaţiilor termomecanice aferente CTE şi CET —, se desprind numeroase concluzii, capabile să evidenţieze noi şi importante căi de creştere a eficienţei lucrărilor de montaj. Astfel, un aspect important îl reprezintă influenţa preasamblării furniturii asupra volumului şi duratei lucrărilor de montaj; lucrarea de faţă îşi propune studierea cantitativă a acestui aspect, aplicaţiile avînd în vedere realizarea instalaţiilor termomecanice aferente unui bloc energetic cazan-turbină.

1. Definiţii

Referitor la livrarea furniturii termomecanice pe şantier — efectuată de către diverşi furnizori — sînt de precizat următoarele noţiuni:

— *componentă tehnologică — CT*, element mecanic primar aparţinînd instalaţiei tehnologice, realizat prin operaţii metalurgice şi de lăcătuşerie-asamblare[1];

— *componentă mecanică — CM*, element mecanic primar necesar pentru realizarea integrităţii, siguranţei în funcţionare şi deservirii instalaţiei[2].

CT şi *CM* sînt executate de către furnizor, respectînd STAS, NID sau alte standarde sau norme precizate; se pot executa şi în cadrul organizării de şantier, respectînd aceleaşi norme de calitate, dar cu repercusiuni negative în utilizarea intensivă a utilajelor, forţei de muncă şi bugetului de timp.

— *operaţie tehnologică — OT*, operaţie primară necesară pentru realizarea instalaţiei sau a îmbinărilor între diversele ei părţi componente[3]. Solicită personal calificat (autorizat) şi utilaje speciale;

— *bloc de uzină — BU*, subansamblu al instalaţiei, plan sau spaţial, realizat integral în uzină, respectînd dimensiunile şi condiţiile tehnice prevăzute în proiectul de execuţie, precum şi normele de calitate specifice *M.E.E.* şi ISCIR[4]. *BU* include *CT* şi/sau *CM*.

Furnizorul asigură constructiv atît racordul rapid (înscris în toleranţele sau adaosurile prescrise) cu *BU* vecine, cît şi protejarea şi rigidizarea *BU* în timpul transportului către şantier. Cu excepţia condiţionărilor tehnologice

*) Dr. ing. Anatol Măcriş este director tehnic şi de producţie al Trustului Energomontaj Bucureşti; Horia-Mihail Tănase este inginer la Institutul politehnic Bucureşti, Catedra de centrale electrice.

(1) Ţeavă dreaptă, conducte fasonate (coturi, teuri, reducţii ş.a.), serpentine colectoare, armături, repere aferente îmbinărilor demontabile (flanşe, şuruburi/prezoane, piuliţe ş.a.), AMC (inclusiv teci, diafragme, babuşti ş.a.).

(2) Repere aferente suporturilor conductelor (grinzi, tiranţi, eclise, ghidaje cu arc, mufe filetate ş.a.), reazemelor echipamentelor (şei, boghiuri, pene de centraj, bailagăre ş.a.), acţionări la distanţă (armături), construcţii metalice de prindere, susţinere şi de acces/deservire (grinzi, console, contravîntuiri, grătare, montanţi, balustrade ş.a.) etc.

(3) Şanfrenări, suduri electrice/autogene, debitări de materiale prin tăiere cu flacără oxiacetilenică, tuşări, tronsonări, polizări, controlul nedistructiv al sudurilor ş.a.

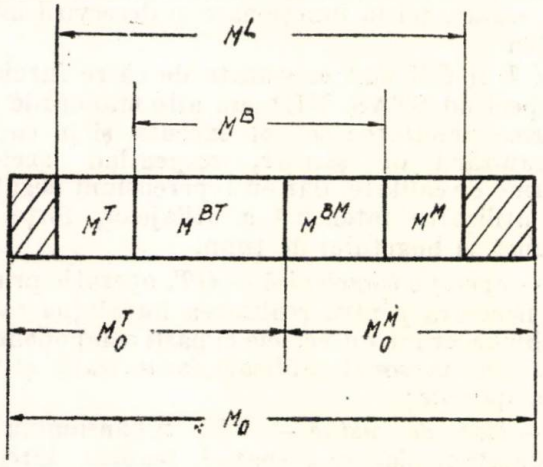
(4) Blocurile aferente scheletului metalic şi sistemului de presiune al cazanului de abur, CAF, tronsoane de conducte, staţii de reducere-răcire, pompe, platforme ş.a.

(legate de configurația instalației), în cazul stabilirii dimensiunilor *BU*, gabaritul admis pe căile de transport constituie singura restricție realistă (tabelul 1). Chiar și în acest caz, livrarea utilajelor sau a *BU* mari[1] poate beneficia de transporturi speciale, agabaritice.

Tabelul 1

Specificația de livrare a furniturii termomecanice

Componenta	Restricii în dimensionare	Masa livrată *)	
		unitară t/bl.	totală t
CT	fără (metalurgice)	—	$M^T \leqslant M_0^T = M$
CM	gradul de detaliere a proiectului de execuție	—	$M^M \leqslant M_0^M$
BU	gabaritul admis pe căile de transport	m_i $(i=1,\ldots,N)$	$M^B = \sum_{i=1}^{N} m_i$; $M^B = M^{BT} + M^{BM}$



*) M_0^T, M_0 — masa instalației tehnologice, respectiv masa totală, în t; M^L, M^B — masa livrată pe șantier, respectiv masa BU, în t.

2. Preasamblarea furniturii termomecanice

Gradul de preasamblare a furniturii termomecanice exprimă (cantitativ și calitativ) volumul de lucrări executate în uzină.

Deoarece fluxul tehnologic de montaj reprezintă o continuare a fluxului din uzină, comparînd condițiile de tehnicitate, precum și indicatorii tehnico-economici specifici realizați, șantierul de montaj este net dezavantajos. Eliminarea acestor dezavantaje, printr-o adaptare corespunzătoare a organizării (provizorii) de șantier, constituie o soluție viabilă, care se repercutează totuși negativ asupra eficienței investiției.

În tabelul 2 sînt precizați parametrii care definesc gradul de preasamblare a furniturii termomecanice; analizînd indicatorii tehnologici propuși, din tabel rezultă parametrii livrării optime. Gradul de preasamblare, definit de parametrii $\{L,\ B,\ j_m;\ j=1,\ldots,R\}$, determină volumul și durata lucrărilor de montaj. Executarea în uzină a unui număr maxim de repere și operații tehnologice contribuie direct la creșterea eficienței activității de montaj, reducînd termenul de punere în funcțiune a obiectivului energetic.

Tabelul 2

Gradul de preasamblare a furniturii termomecanice

Parametrii calitativi ai livrării (a)		
Relația de calcul (b)	Livrarea optimă (c)	U.M.
1. *masa medie a BU*: $m_c = M^B/N$;	$m_{cMT}; N\,|_{m\text{în}}$;	t/bl.
2. *masa medie optimă a BU*, [1], [2]: $\bar{m} = (M_0)^{1/3}$;		t/bl.
3. *dispersia livrării*: $d_i = 10^2[(m_i - \bar{m})^2/\bar{m}^2]0{,}5$;	$\leqslant 80$	%
4. *dispersia medie*: $\bar{d} = d_i(m_c)$;	$\to 0$	%
5. *intensitatea livrării*: $L = 10^2 M^L/M_0$;	$\geqslant 80$	%
6. *indicele de preasamblare în uzină*: $B = 10^2\, M^B/\, M^L$;	$\geqslant 80$	%
7. *indicele specific de uzină OT tip j*, $j = 1, \ldots, R$: $j_u = J_u/\, a_j M_0$;	$j_u\,|_{MT}$	buc./t
8. *indicele specific de montaj OT tip j*, $j = 1, \ldots, R$: $j_m = (J_0 - J_u)/\, a_j M_0 = j_0 - j_u$ $j_0 = J_0\, /\, a_j M_0$	$j_0 - j_u\,|_{MT}$	buc./t
9. *gradul de finisare OT tip j* $j=1, \ldots, R$: $F_j = 10^2\, j_u/\, j_0$.	$F_j\,|_{MT}$	%

(a) Parametrii pot fi aplicați și diverselor părți componente ale instalației (exemplu: $L^T = 10^2\, M^{LT}/M$; $L^M = 10^2\, M^{LM}/\, M_0^M$);

(b) J_0, J_u — numărul total de OT tip j necesar a fi executate pentru realizarea instalației, respectiv executate în uzină, în buc. În cazul sudurilor (v. relațiile 1, 2 și 3) electrice executate la circuite cu dimensiuni diferite, se pot defini lungimile echivalente ale cordonului de sudură — L_0, respectiv L_u, în ml. treceri, rezultînd indicii specifici de uzină și de montaj $s_u(l)$ și $s_m(l)$, în ml. treceri/t (anexa 2);

a_j — cota, din masa instalației, supusă OT tip j;

(c) MT — maxim tehnologic.

În executarea unor *BU* mari, participarea proiectantului încă din faza de concepție este esențială; gradul de detaliere și precizia proiectelor de execuție contribuie, în egală măsură, la efortul furnizorului de a îmbunătăți gradul de preasamblare a furniturii. În paralel, executarea de către furnizor a tuturor obligațiilor impuse prin proiect, inclusiv respectarea toleranțelor de fabricație și a adaosurilor de montaj

(1) Tamburul (cazan cu circulație naturală), rezervorul de apă de alimentare, grinzile podului rulant (sala mașinilor), trafobloc, ecranele (sistemul de presiune al cazanului), boilere de termoficare, canale de aer/gaze ș.a.

prescrise, contribuie direct atît la reducerea volumului de montaj, cît şi la diminuarea ponderii (ca manoperă şi durată) lucrărilor de remediere, realizate pe şantier. Asigurarea contactului permanent între proiectant, furnizor şi montor permite identificarea rapidă a tuturor posibilităţilor concrete de îmbunătăţire a gradului de preasamblare a furniturii. Experienţa fructuoasă comună şi cooperarea realizate pînă în prezent, în executarea şi montarea furniturii termomecanice de producţie românească, obligă continuarea şi intensificarea eforturilor întreprinse în scopul atingerii acestui deziderat.

3. Volumul lucrărilor de montaj

Gradul de preasamblare a furniturii determină volumul lucrărilor de montaj; din tabelul 2 rezultă mărimile de calcul pentru dimensionarea resurselor execuţiei (forţa de muncă, materialele de montaj, utilajele de mare şi mică mecanizare).

Cadrul tehnico-organizatoric de desfăşurare a fluxului tehnologic din uzină impune furnizorului executarea unui număr maxim de BU, CT, CM şi OT. De asemenea, posibilitatea specializării formaţiilor de lucru în uzină asigură creşterea calităţii execuţiei. Acest ultim aspect este esenţial, volumul eterogen de lucrări de montaj şi aria geografică întinsă de desfăşurare simultană a activităţilor de construcţii-montaj, în domeniul energetic, făcînd imposibilă specializarea integrală a montorilor în condiţii de şantier.

În scopul reducerii volumului lucrărilor de montaj executate pe şantier se au în vedere următoarele posibilităţi de îmbunătăţire a gradului de preasamblare :

1. Creşterea indicelui de preasamblare în uzină, *B*. Furnizorul execută şi livrează BU cu dimensiuni şi mase unitare mari; secţiunea transversală a acestora se menţine în limitele gabaritelor admise, lungimea BU impunînd utilizarea mijloacelor de transport speciale (trailăre, vagoane tip platformă cuplate).

Referitor la circuitul de abur viu, în anexa 1 se analizează acest aspect în ipoteza a două variante de livrare, extreme. Efectele pozitive sînt evidenţiate şi în exemplele prezentate în anexele 2 şi 3.

2. Respectarea toleranţelor de fabricaţie şi a adaosurilor de montaj precizate în proiect; se impune anularea volumului lucrărilor de remediere, în prezent executate pe şantier.

3. Îmbunătăţirea calităţii execuţiei. Realizînd BU, care înglobează un număr maxim de CT, CM şi OT, furnizorul atestă verificarea şi testarea calităţii furniturii; se reduce volumul şi durata probelor individuale executate pe şantier.

4. Executarea în uzină a unui număr maxim de OT. Chiar dacă tehnologiile de execuţie nu implică condiţii tehnice deosebite, realizarea OT pe şantier reprezintă un volum de lucrări deosebit de mare. În cazul sudurilor, OT cea mai utilizată la montarea instalaţiilor CTE/CET, indicii specifici de uzină şi de montaj sînt (tabelul 2) :

$$s_u = S_u/a_s\ M_0\ \text{[buc./t]} \qquad (1)$$

respectiv

$$s_m = s_0 - s_u;\ s_0 = S_0/a_s M_0\ \text{[buc./t]}. \qquad (2)$$

Livrarea unor BU cu un grad ridicat de finisare

$$F_s = 10^2\ s_u/s_0\ [\%] \qquad (3)$$

reduce volumul de suduri executate în condiţii de şantier, durata de montaj, precum şi numărul sudorilor implicaţi. Efectele pozitive sînt resimţite în mod deosebit în cazul sudurilor electrice de înaltă presiune (anexa 1); de reţinut că o sudură de acest tip este executată de către o pereche de sudori cu înaltă calificare, autorizaţi în prealabil de ISCIR. Exemplul dat exclude operaţiile de remediere/reparare, considerîndu-se un rezultat pozitiv al controlului nedistructiv al sudurilor (100% din sudurile executate pe şantier).

5. Executarea integrală a volumului de lucrări ce cad în sarcina furnizorului, în conformitate cu desenele de execuţie. Realizarea unor BU cu OT executate parţial prezintă dezavantajele precizate la pct. 4.

Lista de mai sus nu este exhaustivă, lucrarea de faţă nepropunîndu-şi evidenţierea şi epuizarea tuturor posibilităţilor concrete de îmbunătăţire a gradului de preasamblare a furniturii aferente, de exemplu (anexa 3) a cazanelor de abur de producţie românească.

4. Durata de montaj

Fluxul de montaj implică executarea (succesiv şi simultan) mai multor operaţii tehnologice. Termenul de punere în funcţiune este stabilit şi condiţionat de realizarea operaţiilor de montaj aflate pe drumul critic. De reţinut că o comasare excesivă a forţei de muncă nu determină o creştere proporţională a productivităţii muncii, experienţa înregistrînd chiar apariţia unui gradient negativ al duratei de montaj. Notînd :

- $\bar{e}, \bar{f}_j$ — consumul mediu specific de manoperă pentru executarea operaţiilor de lăcătuşerie-asamblare, respectiv OT de tip j, în om.h/t, respectiv om.h/buc.;
- $\bar{T}, \bar{t}_j$ — idem, aferent probelor de punere în funcţiune, respectiv pentru testarea calităţii executării OT tip j, în h/t, respectiv om.h/buc;
- $\bar{P}$ — productivitatea medie a mecanismului de ridicat utilizat, în t/h;

$\bar{H}$ — numărul mediu de montori antrenaţi în executarea unei operaţii de montaj;

S — numărul OT tip j executate simultan, $S \leqslant R$;

K_{DC} — ponderea masică a operaţiilor de montaj aflate, în momentul t, pe drumul critic (DC): $K_{DC}=(\sum m(t)|_{DC})/(\sum m(t))$;

şi avînd în vedere precizările făcute în tabelele 1 şi 2, rezultă durata totală de montare şi punere în funcţiune a instalaţiei:

$$D_0 = \sum_{i=1}^{5} D_i \ [\text{h}], \tag{4}$$

D_i reprezentînd duratele de realizare a fluxului tehnologic defalcat, pentru operaţiile aflate pe drumul critic:

1. Lucrări de lăcătuşerie-asamblare. În ateliere mecanice (organizare de şantier), platforma de preasamblare şi zona de montaj, sînt executate OT şi CM nelivrate:

$$D_1 = K^1_{DC}\, \bar{e}_1 (1 - 0{,}01\, L)\, M_0/\bar{H}_1; \tag{5}$$

2. Lucrări generale de organizare a montajului. Se amenajează zonele de preasamblare şi de montaj (platforme, schele, căi de acces provizorii, calaje, lucrări de tachelaj, prelucrări de fundaţii, exersarea şi autorizarea montorilor calificaţi în OT tip j ş.a.):

$$D_2 = K^2_{DC}\, \bar{e}_2\, M_0 (1 - 10^{-4}\, L\, B)\, (1 + 0{,}01\, \bar{d})/\bar{H}_2 \tag{6}$$

3. Executarea OT critice:

$$D_3 = MAX \left\{ \sum_{j=1}^{S'} \bar{f}_j (j_0 - j_u)\, a_j M_0/\bar{H}'_j \right\} =$$

$$= MAX \left\{ \sum_{j=1}^{S'} \bar{f}_j\, j_0 (1 - 0{,}01\, F_j)\, a_j M_0/\bar{H}'_j \right\} \tag{7}$$

4. Lucrări de manevrare-manipulare-ridicare (realizate în incinta şantierului, în depozite, platforme de preasamblare, zonele de montaj) a componentelor livrate (BU, CT, CM) sau a blocurilor spaţiale realizate pe şantier:

$$D_4 = K^4_{DC}\, [m_c\, N + M_0 (1 - 10^{-4}\, L\, B)]/\bar{P} =$$

$$= K^4_{DC}\, M_0/\bar{P}; \tag{8}$$

5. Punerea în funcţiune. Include durata de realizare a verificărilor şi probelor privind montajul şi punerea în funcţiune a instalaţiei:

$$D_5 = \bar{T}\, M + MAX \left\{ \sum_{j=1}^{S''} \bar{t}_j\, j_0 (1 - 0{,}01\, F_j)\, a_j M_0/\bar{H}''_j \right\} \tag{9}$$

În relaţiile de mai sus s-au admis o serie de ipoteze simplificatoare, legate de modelarea matematică a procesului real. Acestea nu modifică fondul problemei, permiţînd aprecierea rolului pe care îl are gradul de preasamblare, în ceea ce priveşte scurtarea duratelor de montaj.

Din relaţiile precizate rezultă că duratele de montaj D_1, D_2, D_3 şi D_5 se reduc proporţional cu valorile parametrilor definitorii ai livrării. În aceste condiţii, îmbunătăţirea gradului de preasamblare modifică drumul critic al montajului (anexa 1), crescînd ponderea lucrărilor specifice de montaj. Deoarece acestea sînt condiţionate în mai mare măsură de resursele execuţiei, organizarea modernă a fluxului de montaj (utilizarea şi încărcarea raţională a forţei de muncă, montajul în flux continuu, dimensionarea, amplasarea şi încărcarea optimă a utilajelor de mare şi mică mecanizare ş.a.) este facilitată, cu repercusiuni pozitive asupra eficienţei investiţiei.

ANEXA 1

Circuitul de abur viu

Se are în vedere schema izometrică a circuitului de abur viu aferent unui bloc cazan-turbină (fig. 1). În tabelele 3 şi 4 este precizată specificaţia de livrare.

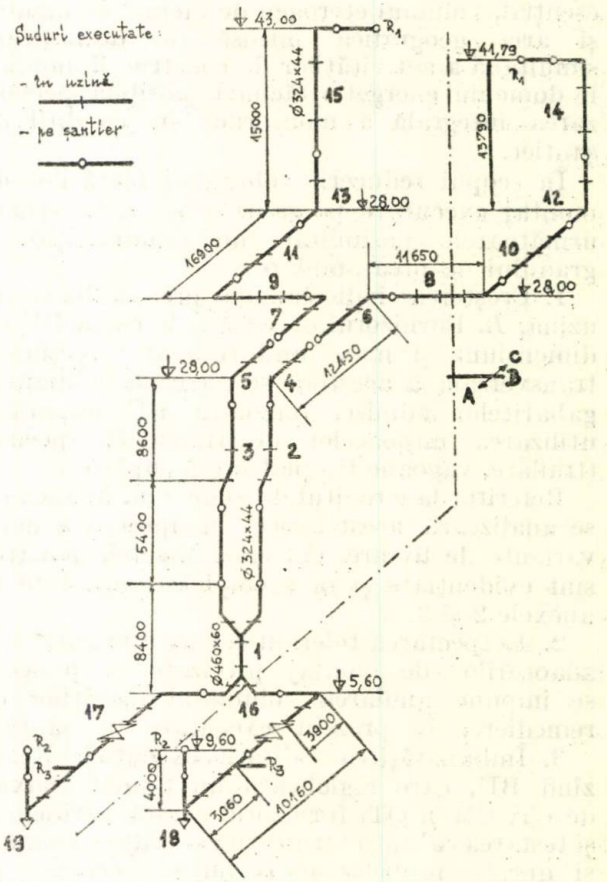


Fig. 1. Schema izometrică a circuitului de abur viu: R_1, R_2, R_3 — racorduri la supraîncălzitorul cazanului, ventilele de închidere rapidă, respectiv staţiile de reducere-răcire rapidă (by-pass) de înaltă presiune.

Gradul de preasamblare a furniturii este analizat în tabelul 5, în ipoteza a două variante de livrare, extreme :

Varianta I :

CT fasonate sînt livrate independent, şanfrenate la un singur capăt ; ţeava livrată în vrac nu este şanfrenată. CM — sînt livrate ghidajele cu arc.

Varianta a II-a :

Se livrează BU (fig. 1) : BU nr. 1 — 10,18 t/bloc ; nr. 2 şi 3 — 4,49 t/bloc ; 4 şi 5 — 3,31 ; 6 şi 7 — 3,38 ; 8 şi 9 — 4,41 ; 10 şi 11 — 4,07 ; 12 — 3,00 ; 13 — 3,26 ; 14 — 4,11 ; 15 — 4,22 ; 16 şi 17 — 5,03 ; 18 şi 19 — 3,28. BU sînt prevăzute cu adaosuri de montaj.

În figura 2 este dată programarea lucrărilor de montaj prin metoda drumului critic, în cazul celor două variante considerate ; s-au avut în vedere următoarele operaţii principale de montaj (model matematic simplificat).

1. Pregătirea montajului

11 — identificarea CT în depozit (110 om. h/110 om. h — varianta I, respectiv a II-a) ; 12 — idem, CM şi procurarea materialelor de montaj (240/120) ; 13 — prelucrarea şi testarea CT (420/320) ; 14 — amenajarea şi pregătirea montajului pe platforma de preasamblare (120/0) ; 15 — însuşirea tehnologiei de sudare, pregătirea electrozilor (60/60) ; 16 — exersarea şi autorizarea sudorilor electrici (160/160) ; 17 — executarea CM nelivrate (450/0).

Tabelul 3

Circuitul de abur viu — specificaţia de livrare

Furnitura			
Cantitatea [buc.]	Masa		
	unitară [t/buc.]	totală [t]	
CT :	$M_0^T = M =$		90,84
— ţeavă dreaptă laminată la cald, oţel aliat, Ø 324 × 44 ;			
120 [ml]	0,31		37,20
— cot tras, 90°, Ø 324 × 44, R = 5Dn ;			
12	1,96		23,52
— idem, 45 ;			
4	1,57		6,28
— idem, 30 ;			
4	1,41		5,64
— tronson de egalizare, Ø 460 × 60 ;			
1	1,82		1,82
— ramificaţie dublă 60°, Dn 300/ 400/ /300, Pn 400 ;			
2	1,36		2,72
— sită Dn 300, Pn 400 ;			
2	1,63		3,26
— teu forjat Dn 300/250/300, Pn 400 ;			
2	1,18		2,36
— robinet cu sertar acţionat electric, Dn 300, Pn 400,			
2	1,71		3,42
— repere CT			
[ans]	—		4,62
CM :	$M_0^M =$		23,51
— ghidaje cu arc pentru suporturi monofilare ;			
16	0,72		11,52
— idem, bifilare ;			
14	0,41		5,74
— repere CM			
[ans]	—		6,25

Tabelul 4

Circuitul de abur viu — variante de livrare pe şantier

Mărimea	U.M.	Varianta	
		I	II
M_0	t	114,35	
m	t/bl.	4,85	
M^L	t	103,48	111,23
CT :			
M^T	t	86,22	10,13
$M^B = M^{BT}$	t	0	80,71
N	bl.	0	19
CM :			
M^M	t	17,26	20,39
OT			
— şanfrenări :			
$R_0 = 140$ buc.			
R_u	buc.	4,0	120
— suduri electrice :			
$S_0 = 76$	buc.	0	146
S_u			

2. Preasamblare şi transport

21 — realizarea blocurilor nr. 4, 5, 6 şi 7 (fig. 1), pe platforma de preasamblare (380/0) ; 22 — idem, 8—15 (900/0) ; 23 — idem, 1—3 (700/0) ; 24 — idem, 16 — 19 (720/0) ; 25 — transportarea blocurilor nr. 4, 5, 6 şi 7 în zona de montaj (120/120) ; 26 — idem, 8—15 (160/160) ; 27 — idem, 16—19 (160/160) ; 28 — idem, 1 (180/0) ; 29 — idem, 2, 3 (120/300, inclusiv blocul nr. 1).

3. Montaj

31 — poziţionarea, centrarea şi montarea definitivă a blocurilor nr. 4—7 (300/300) ; 32 — idem, 8—15 (650/650) ; 33 — idem, 1 (180/0) ; 34 — idem, 16—19 (340/340) ; 35 — idem, 2—3 (240/420, inclusiv blocul nr. 1) ; 36 — realizarea racordurilor la ventilele de închidere rapidă (280/280) ; 37 — idem, la colectoarele supraîncălzitorului de abur viu (220/220) ; 38 — realizarea racordurilor definitive şi revizia finală (240/240).

Tabelul 5

Circuitul de abur viu — gradul de preasamblare a furniturii

Mărimea	U.M.	Varianta de livrare	
		I	II
L	%	90,49	97,27
B	%	0	72,56
B^T	%	0	88,85
m_c	t/bl.	0	4,25
d	%	—	12
Şanfrenări : $r_0 = 1{,}55$ buc./t ($a_r = 0{,}79$)			
r_u	buc./t	0,44	1,33
F_r	%	28,39	85,81
Suduri electrice de înaltă presiune : $s_0 = 0{,}84$ buc./t ($a_s = 0{,}79$)			
s_u	buc./t	0	0,1
F_s	%	0	60,71

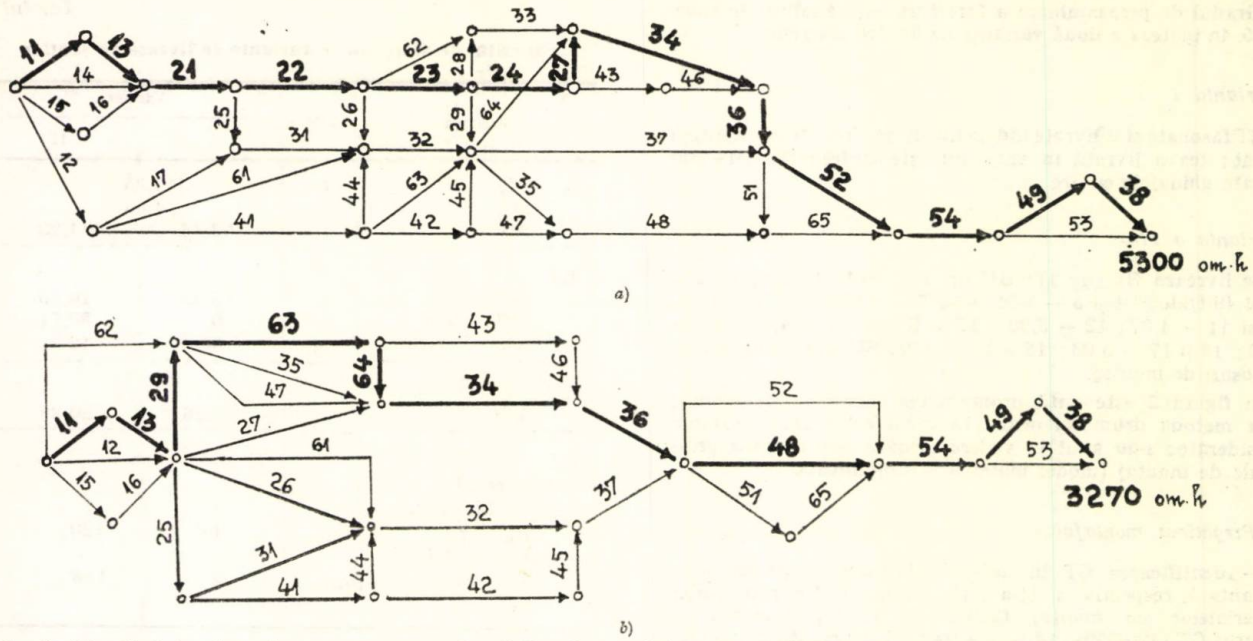


Fig. 2. Circuitul de abur viu — programarea lucrărilor de montaj prin metoda drumului critic pentru varianta I (*a*), respectiv a II-a (*b*). Cifrele indică numărul curent al operației de montaj.

4. Suporturi

41 — construcții metalice de prindere-suspendare aferente suporturilor bl. nr. 4—7 (160/160); 42 — idem, 8—15, (280/280); 43 — idem, 16—19 (210/210); 44 — montarea suporturilor aferente bl. nr. 4—7 (160/160); 45 — idem 8—15 (180/180); 46 — idem, 16—19 (180/180); 47 — idem, 2—3 (180/180); 48 — reglarea, pretensionarea și blocarea suporturilor (650/650); 49 — revizia finală și deblocarea suporturilor (420/420).

5. Alte operații

51 — circuite de aerisire, golire, drenaj (300/300); 52 — montarea AMC (470/470); 53 — montarea reperelor de fluaj (120/120); 54 — proba hidraulică a circuitului (160/160).

6. Provizorate

61 — schele și căi de acces provizorii în zona de montaj cuprinsă între șirul C și front cazan, cota + 25,00 (420/420); 62 — idem, șir B cota + 9,60 (160/160); 63 — idem, șir B, cota + 16,90 (180/180); 64 — idem, front turbină cota + + 5,00 (270/270); 65 — circuite provizorii și lucrări de montaj executate în vederea probei hidraulice a circuitului (120/120).

ANEXA 2

Colector de abur alimentare degazor

Se consideră schema izometrică a colectorului de abur (conducte de medie și joasă presiune) alimentare degazor cu presiune fixă (fig. 3).

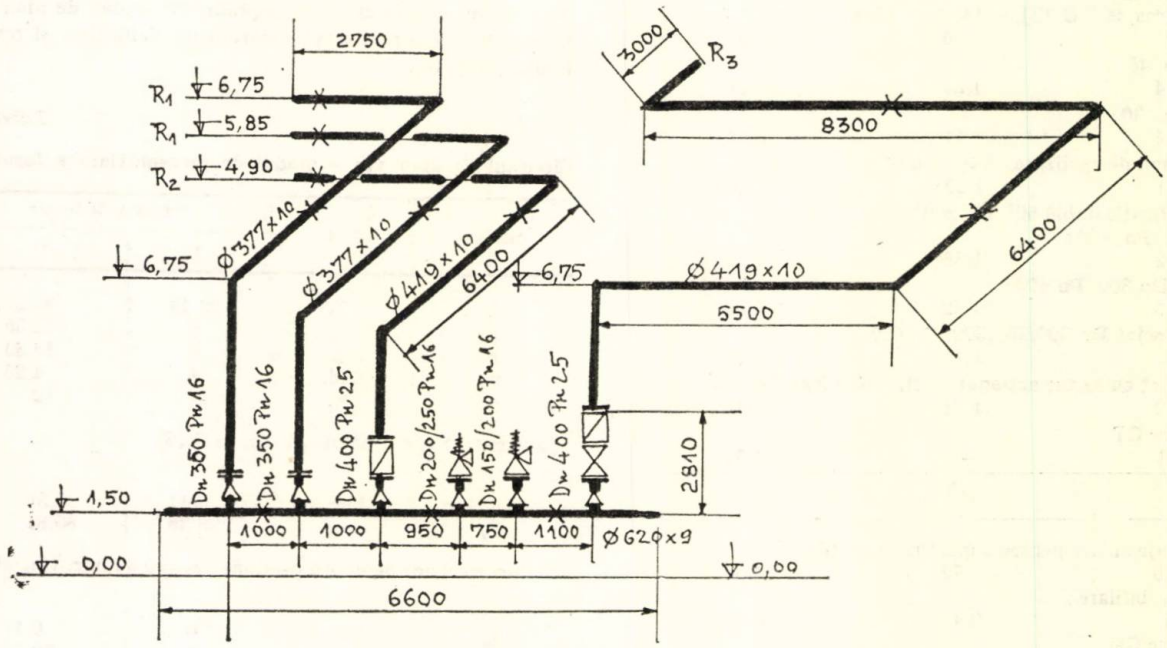


Fig. 3. Colectorul de abur alimentare degazor:
R_1, R_2, R_3 — racorduri de la stația de reducere-răcire de medie presiune, de la priza turbinei, respectiv la degazor.

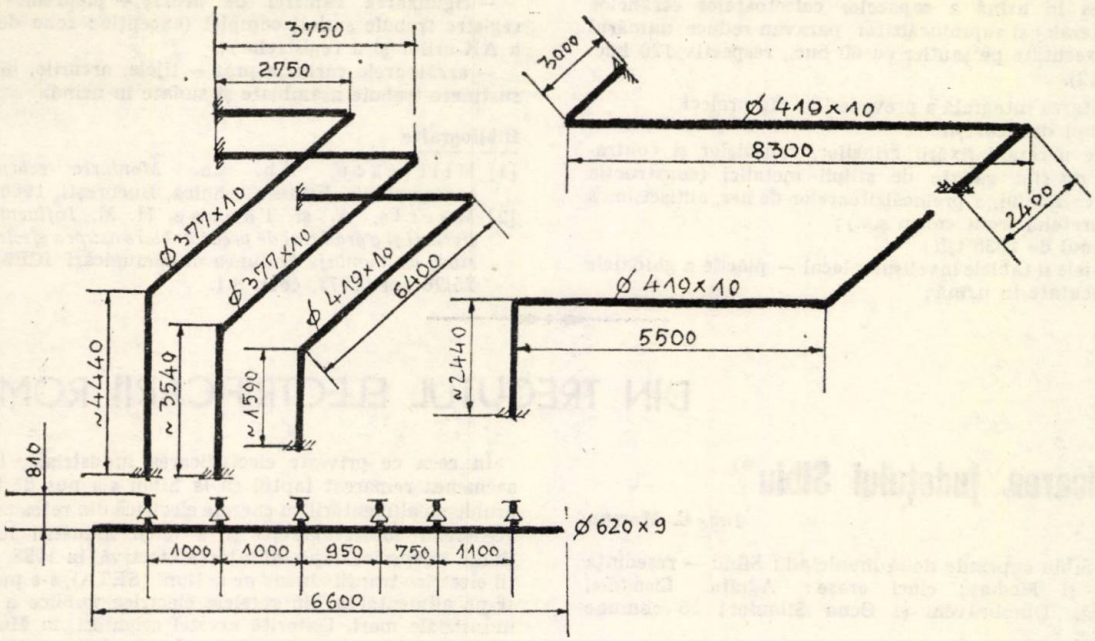


Fig. 4. Colectorul de abur — livrarea BU în varianta a II-a.

Tabelul 6

Colectorul de abur de alimentare a degazorului — specificația de livrare

Mărimea	U.M.	Varianta de livrare	
		I	II
M_0	t	21,12	
M^L	t	12,16	19,90
CT :			
M^T	t	11,92	4,80
$M^B = M^{BT}$	t	0	15,10
N	bl.	0	6
CM :			
M^M	t	0,24	2,44
OT (suduri electrice) :			
$L_0(s)$	ml. treceri	443	
$L_u\ (s)$	ml. treceri	0	387

Tabelul 7

Colectorul de abur de alimentare a degazorului — gradul de preasamblare a furniturii

Mărimea	U.M.	Varianta de livrare	
		I	II
m_e	t/bl.	—	2,52
$\overline{m}$	t/bl.	2,77	
$\bar{d}$	%	0	9
L	%	58	94
B	%	0	76
Suduri electrice de medie presiune : $s_0\ (l) = 33{,}66$ ml treceri/t ($a_s = 0{,}62$)			
$s_m\ (l)$	ml. treceri/t	33,66	4,26
F_s	%	0	87

În tabelul 6 este precizată specificația de livrare, gradul de preasamblare fiind analizat în tabelul 7, în ipoteza a două variante de livrare, extreme :

Varianta I :

CT : armături ($Dn \geqslant 100$, $Dn \leqslant 100$) și țeavă (livrată în vrac) ; CM : arcurile aferente suporturilor mono și bifilare.

Varianta a II-a :

Se livrează BU (fig. 4) prevăzute cu adaosuri de montaj. Reperele mecanice aferente suporturilor sînt livrate integral.

ANEXA 3

Îmbunătățirea gradului de preasamblare a furniturii aferente cazanelor de abur

1. Creșterea indicelui de preasamblare în cazul cazanului de 420 t/h (R.S.R.) :

— ecranele front (vaporizator) se livrează în 12 BU ; îmbunătățirea gradului de preasamblare prin realizarea a 6 BU ($L \leqslant 23$ m) simplifică fluxul de montaj, reducînd S_m cu 300 buc. (Ø 44 × 5,5) ;

— ecranele laterale, 18 BU, executate din 12 BU ($L \leqslant 20$ m) determină reducerea S_m cu 180 buc. (Ø 60 × 6) ;

— suspensiile supraîncălzitorului convectiv, livrate în 3 buc./suspensie, se pot executa integral în uzină, eliminînd 12 suduri electrice (Ø 273 × 25) în prezent executate pe șantier ;

— scările și podețele, livrate sub formă de repere neasamblate ($L \leqslant 2$ m), se pot executa în uzină, BU cu $L \leqslant 10$ m, avînd grătarele montate.

2. Executarea unui număr maxim de OT în uzină :

2.1. indicii specifici de montaj pentru suduri, determinați în cazul a două cazane de abur : I — U.R.S.S. — TGM 84/bs (420 t/h ; 140 bar ; 570/570°C ; păcură-gaze ; $a_s = 0{,}28$), pentru care $s_m = 4{,}81$ buc./t și II — R.S.C. — Timace (525 t/h 152 bar ; 540/540°C ; păcură-gaze ; $a_s = 0{,}23$ cu $s_m = 17{,}86$ buc./t.

2.2 cazanul de 420 t/h :

— v. exemplele de la punctul 1 ;

— sudarea în uzină a capacelor colectoarelor ecranelor (front şi laterale) şi supraîncălzitor paravan reduce numărul sudurilor executate pe şantier cu 60 buc., respectiv 120 buc. (Ø 133 × 12).

3. Executarea integrală a prevederilor din proiect :

3.1 cazanul de 420 t/h :

— guseele necesare fixării grinzilor, consolelor şi contravîntuirilor nu sînt sudate de stîlpii metalici (construcţia metalică a cazanului, a preîncălzitoarelor de aer, antiseismică aferentă peretelui front cazan ş.a.) ;

3.2 cazanul de 1035 t/h :

— bandajele şi tablele învelişului local — plăcile şi ghidajele trebuie executate în uzină ;

— rigidizarea camerei de ardere — pieptenii fixaţi pe registre trebuie sudaţi complet (excepţie : zona de îmbinare a AK-urilor şi a registrelor) ;

— arzătoarele cărbune praf — tijele, arcurile, discurile de susţinere trebuie asamblate şi sudate în uzină.

Bibliografie

[1] Miliţescu, Gh. ş.a. *Montarea echipamentului termomecanic.* Editura tehnică, Bucureşti, 1966.

[2] Măcriş, A. şi Tănase, H. M. *Influenţa calităţii livrării şi a gradului de preasamblare asupra eficienţei lucrărilor de montaj.* Sesiunea de comunicări ICEMENERG, 25/26 apr. 1977, com. 3.1.

DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI

Electrificarea judeţului Sibiu*)

Ing. C. Morţun

Judeţul Sibiu cuprinde două municipii : Sibiu — reşedinţa judeţului — şi Mediaş ; cinci oraşe : Agnita, Cisnădie, Copşa Mică, Dumbrăveni şi Ocna Sibiului ; 55 comune şi 175 sate.

Relieful este variat, predominant muntos şi deluros ; în nord podiş, în centru o zonă depresională, la sud culmile Munţilor Făgăraş, Cindrel şi Lotru. Reţeaua de ape nu este prea bogată ; ea cuprinde cotul Oltului, cu afluenţii din zonă şi în partea de nord ultima porţiune a rîului Tîrnava Mare. Suprafaţa judeţului este împărţită aproximativ în mod egal între păduri, păşuni, fineţe şi teren arabil. Subsolul conţine zăcăminte de gaz, materiale de construcţii, nisipuri, balast, argile, marmură şi unele ape sărate cu efecte terapeutice la Ocna Sibiului şi Bazna.

Starea economică prosperă a judeţului, şi în special a Municipiului Sibiu, i-a conferit acestui oraş un rol conducător în economia Transilvaniei, care s-a manifestat puternic şi în domeniul electrificării, judeţul Sibiu menţinîndu-se pînă în 1950 pe primul loc din ţară ca număr de comune rurale electrificate.

Introducerea utilizării electricităţii în judeţul Sibiu s-a făcut relativ timpuriu, prin electrificarea în anul 1896 a Municipiului Sibiu, care devine astfel cel de-al şaselea oraş electrificat al ţării.

În 1895 s-a constituit „S.A. Uzina electrică Sibiu", care a obţinut concesiunea exploatării electricităţii în Municipiul Sibiu, extinzîndu-şi activitatea şi în afara Sibiului. Astfel, imediat după Sibiu, în 1897, a fost electrificat şi oraşul Cisnădie, iar mai tîrziu, în 1908, oraşul Ocna Sibiului. Celelalte oraşe ale judeţului s-au electrificat mult mai tîrziu, datorită faptului că, fiind situate în regiunea gazului metan, dispuneau de reţele de distribuţie de gaz, care era utilizat atît pentru căldură şi lumină, cît şi pentru necesităţi de forţă, iar primăriile respective erau legate prin contracte cu concesionarii reţelelor pentru utilizarea în exclusivitate a gazului metan. Aceste oraşe au fost electrificate mai tîrziu, în ordinea : 1927 — Agnita, 1928 — Mediaş, Dumbrăveni şi Copşa Mică.

Judeţul Sibiu este primul judeţ din ţară în care problema electrificării rurale a stat în atenţia specialiştilor de la Uzina electrică Sibiu încă de la primele începuturi. Astfel, comuna Sadu, pe teritoriul căreia s-a instalat şi pus în funcţiune în 1896 CHE Sadu I, pentru alimentarea oraşului Sibiu, a fost electrificată în 1897, fiind cea de-a doua localitate rurală electrificată din ţară**). În continuare sînt electrificate succesiv localităţile : Guşterija (1901), Turnişor (1905), Şelimbăr (1906), Şura Mare (1907), Şura Mică (1912), Tălmaciu (1914), Hamba (1917) etc.

În ceea ce priveşte electrificarea industrială, trebuie de asemenea remarcat faptul că la Sibiu s-a pus de la început problema alimentării cu energie electrică din reţeaua publică a atelierelor meşteşugăreşti şi a micii industrii locale. Mai tîrziu, în special după înfiinţarea efectivă, în 1928, a Societăţii electrice transilvănene pe acţiuni (SETA), s-a pus accentul şi pe alimentarea din reţelele electrice publice a unităţilor industriale mari. Datorită acestei orientări, în Municipiul şi Judeţul Sibiu nu s-au instalat decît relativ puţine centrale industriale autoproducătoare.

O importanţă deosebită pentru electrificarea Ardealului în perioada de după primul război mondial a constituit activitatea depusă de electroenergeticienii din Sibiu din cadrul celor două organizaţii de specialitate — Uzina electrică Sibiu şi SETA-Sibiu. Această activitate a avut ca prim obiectiv soluţionarea problemelor de alimentare cu energie electrică a oraşelor şi satelor din Ardealul central, care se găseau în acea perioadă — ca şi celelalte localităţi din ţară, de altfel — lipsite de fonduri şi de specialişti pentru soluţionarea acestor probleme, iar sprijinul statului era practic inexistent.

În cadrul activităţii desfăşurate de energeticienii din Sibiu merită să fie menţionate relaţiile cu specialiştii similari din străinătate şi constituirea, în 1920, a Uniunii uzinelor electrice din noile provincii ale României*).

Activitatea Societăţii electrice transilvănene — SETA-Sibiu

Reţeaua SETA

Imediat după primul război mondial a urmat o perioadă de refacere şi de dezvoltare social-economică, care a necesitat cantităţi din ce în ce mai mari de energie şi mai ales de energie electrică.

Instalaţiile electroenergetice din localităţile electrificate erau insuficiente, învechite şi uzate, în general prost gospodărite, încît dificultăţile care au apărut în exploatarea acestor instalaţii au făcut, pe de o parte, practic imposibilă alimentarea în condiţii tehnice acceptabile a consumatorilor existenţi şi, pe de altă parte, nu permiteau racordarea de noi consumatori.

În această situaţie se găseau aproape toate oraşele din ţară, în care au apărut serioase deficite de putere şi energie electrică, frînîndu-se în acelaşi timp şi extinderea electrificării.

Plecînd de la situaţia concretă a oraşelor Sibiu şi Sighişoara, specialiştii din Sibiu au luat în considerare posibilitatea electrificării în ansamblu a oraşelor şi satelor din Ardealul central, prin soluţionarea imediată cît şi în perspectivă a acestei probleme.

Această încercare de a soluţiona electrificarea Ardealului central *constituie în acelaşi timp şi primul studiu serios al unei electrificări regionale la noi în ţară.* Studiul a fost elaborat în

*) Fragment din lucrarea „Istoria electrificării României", elaborată de un colectiv sub conducerea prof. univ. emerit ing. C. Dinculescu, ce urmează să apară în Editura Academiei R.S.R.

**) Prima localitate rurală electrificată a fost Topleţ, din Judeţul Caraş-Severin, în anul 1893.

*) Această organizaţie a constituit modelul pentru organizarea, în 1931, la Bucureşti, a „Asociaţiei producătorilor şi distribuitorilor de energie electrică din România" — APDE —, care a grupat, într-o organizaţie profesională, toate întreprinderile şi exploatările publice de electricitate din România, organizaţie cu care „Uniunea" din Sibiu a fuzionat în acelaşi an (1931).

1922 de către specialiștii de la Uzina electrică Sibiu, conduși de directorul uzinei, ing. S. Dachler, în colaborare cu Biroul de inginerie Oskar von Miller din München, specialist binecunoscut la Sibiu încă de pe vremea primelor lucrări de electrificare, din 1896 *).

În esență, studiul și proiectul prezintă mai întîi insuficiența instalațiilor și dificultățile existente în exploatarea celor din orașele Sibiu și Sighișoara, precum și consecințele economice și sociale ale lipsei totale a energiei electrice din orașul Mediaș. Arătîndu-se posibilitățile existente, se preconizează soluția interconectării centralelor electrice din regiunea de est și de sud a Transilvaniei „de la Cluj la Brașov și de la Bistrița pînă la Sibiu", precum și construirea în această regiune și a altor instalații de producere a energiei electrice, bazate pe energia apelor și gazul metan. Toate centralele urmau să producă energie electrică sub forma curentului alternativ trifazat, la frecvența normalizată de 50 Hz. Proiectul cuprindea, de asemenea, și interconectarea rețelei de bază a Societății transilvănene, stabilită la tensiunea de 60 kV, cu rețeaua societății „Electrica" din regiunea petroliferă, care în acea perioadă avea în construcție centrala electrică Florești.

Transportul energiei electrice și interconectarea centralelor principale urma să se facă în 60 kV, în timp ce pentru distribuția regională și urbană au fost alese tensiunile de 15, respectiv 6 kV. Pentru rețelele de distribuție de joasă tensiune a fost stabilită tensiunea unică de 3 × 380/220 V. Transformarea de la 60 kV la 15 kV urma să se facă în cîteva stații regionale corespunzător amplasate pe suprafața regiunii, cea de la 60 kV la 6 kV în general în stații pentru alimentarea orașelor importante, iar transformarea la 380/220 V, prin posturi de transformare 15 000/380/220 V și 6000/380/220 V.

În general, pentru toate categoriile de linii, ca și pentru posturile de transformare mici a fost adoptată soluția în execuție aeriană, mult mai ieftină.

Într-o primă etapă era luată în considerare alimentarea în 60 kV din CET Tîrnăveni a societății „Nitrogen", care avea un important disponibil de putere **) și interconectarea la rețea a celorlalte centrale electrice existente în Sibiu, Sighișoara și Sebeș. De asemenea a fost luată în considerare și posibilitatea construirii unei CTE pe gaz metan la Mediaș, echipată cu două turbogrupuri de cîte 1500 kW fiecare.

Lucrările de electrificare erau etapizate astfel:

— etapa I — asigurarea cu energie electrică a orașelor și zonelor Sibiu, Mediaș, Sighișoara, Sebeș, Alba Iulia, Reghin, Bistrița și Cluj;

— etapa II — idem: Brașov, Tîrgu Mureș, Făgăraș, Rupea, Agnita, Dej, Turda, Aiud, Blaj etc.

Acest proiect a stat la baza cererii de concesiune făcută la 9 august 1923 Ministerului Industriei și Comerțului de către societatea SETA.

Obiectul activității societății era definit astfel: „înființarea unor uzine interurbane care ar urma să alimenteze în mod continuu cu curent electric întreaga regiune de est a Transilvaniei, de la Cluj pînă la Brașov și de la Bistrița pînă la Sibiu, cuprinzînd circa 300 orașe și comune".

Deoarece capitalul prevăzut pentru costul lucrărilor nu a putut fi asigurat, a fost necesar să se revină asupra proiectului și devizului inițial, în sensul preluării energiei electrice numai de la CET Tîrnăveni a societății „Nitrogen" și al limitării celorlalte instalații și cheltuieli la un volum mult mai redus.

Astfel SETA și-a putut începe activitatea din 1929, an în care s-au construit următoarele instalații:

— LEA 15 kV Sibiu — Sălișteși stația 15/4,5 kV Sibiu;

— posturile de transformare 15 000/380/220 V și rețelele electrice de joasă tensiune 380/220 V pentru electrificarea satelor: Sălișteș, Cristian, Gura Riului, Orlac, Cacova Sibiului, Săcel, Sibiel, Vale, Galeș și Tilișca.

Începînd din anul 1930 s-a trecut la executarea unor lucrări mai ample, care au avut în vedere alimentarea cu energie electrică din exterior a orașului Sibiu și electrificarea orașelor Mediaș și Agnita, ca și a satelor din această zonă.

S-au construit:

— stațiile 5,5/60 kV și 5,5/15 kV Tîrnăveni;

— LEA 60 kV Tîrnăveni — Mediaș (Proștea Mare), Sibiu: 63,7 km;

— stațiile 60/15 kV Sibiu și Proștea Mare;

— LEA 15 kV Proștela Mare — Mediaș, Proștea Mare — Agnita etc., care au permis în primul rînd alimentarea din CET Tîrnăveni a orașului Sibiu și electrificarea orașelor Mediaș și Agnita, ca și a satelor din zona acestora.

A urmat alimentarea prin extinderi din această rețea — devenită „rețeaua SETA" — a orașelor: Dumbrăveni (1931) prin LEA 15 kV 21,5 km Nemșa — Dumbrăveni (derivată din LEA Proștea Mare — Agnita); Copșa Mică (1932) prin LEA 15 kV 5,8 km Proștea Mare — Copșa Mică; Sighișoara (1932) prin LEA 15 kV 18,5 km Dumbrăveni — Sighișoara; Rupea (1932) prin LEA 15 kV 55,5 km Agnita — Homorod; Alba Iulia (1934) prin două LEA 15 kV Sebeș — Alba Iulia; Ocna-Mureș (1936) prin LEA 15 kV 35 km Tîrnăveni — Ocna Mureș; Făgăraș (1936) prin LEA 15 kV Voila — Făgăraș (prelungirea derivației din LEA Agnita — Homorod); Tîrnăveni (1939) prin racord de 15 kV la stația 5,5/15 kV Tîrnăveni.

În paralel cu rețeaua care se dezvolta avînd ca sursă principală CET Tîrnăveni, SETA a început să-și dezvolte rețeaua regională de 15 kV și în județul Hunedoara în jurul orașului Deva, folosind și alte surse. În 1934, prin contractarea de furnitură de energie electrică de la societatea „Mica" (sistemul local Gura-Barza) s-a construit LEA 25 kV Certej — Deva și stația 25/15 kV Deva, care au permis alimentarea orașului și a regiunii învecinate. Prin LEA de 15 kV s-au alimentat din această stație orașele Simeria și Orăștie, ca și satele din zona acestor orașe.

În aceeași perioadă, în afara celor 14 orașe de mai sus, SETA alimenta prin rețeaua sa de 15 kV de circa 400 km și un număr de circa 70 sate de pe teritoriul județelor: Alba, Brașov, Harghita, Hunedoara și Sibiu.

Prin Decretul nr. 3513 din 1932, SETA obține concesiunea dreptului de a produce și vinde energie electrică în limita puterii de 300 000 kW, pe teritoriul județelor: Alba — Sibiu — Tîrnava Mare — Tîrnava Mică — Mureș și Odorhei *).

SETA a activat pînă la naționalizare, în 1948, după care fosta sa rețea a constituit nucleul sistemului regional Ardealul central. În același timp, cele două organizații electroenergetice, Uzina electrică Sibiu și SETA, au constituit cel de-al doilea rezervor de cadre de specialiști — după București și regiunea petroliferă — pe care s-a sprijinit organizarea în 1949 a noului Minister al Energiei Electrice. Uzina electrică Sibiu și SETA au constituit de asemenea cadrul inițial pentru organizarea, în 1948, a Întreprinderii regionale de electricitate din Sibiu, atunci cea mai importantă din Ardeal.

Municipiul Sibiu. Ca urmare a acțiunilor întreprinse, din inițiativa dr. C. Wolff — conducătorul Casei generale de economii —, în scopul introducerii electricității în orașul Sibiu, în mai 1895 a fost fondată S.A. „Uzina electrică Sibiu", care a preluat concesiunea construirii și exploatării instalațiilor necesare electrificării orașului.

În urma studiilor rezultate din colaborarea dintre specialiștii din Sibiu și ing. Oskar von Miller, în vederea electrificării orașului Sibiu s-a stabilit amenajarea riului Sadu.

În iunie 1895 a început construirea centralei Sadu I, care a fost realizată inițial pentru o cădere utilă de 30 m și un debit instalat de 2,7 m³/s, adică o putere de circa 750 CP.

Centrala a fost echipată inițial cu două grupuri hidraulice identice: turbină verticală tip Girard 260 CP fabricație Ganz și generator monofazat Ganz 4500 V 42 Hz, avînd în rezervă un grup termic: mașină cu abur orizontală 270 CP fabricație Erste Brünner și generator identic cu al grupurilor hidro. Cazanul grupului termic funcționa cu lemne **).

Puterea totală a centralei electrice Sadu I instalată inițial a fost de 790 CP, din care 520 CP hidro și 270 CP termo.

În paralel s-au executat și celelalte instalații necesare unei electrificări inițiale a orașului Sibiu, și anume:

— LEA de transport c.a. monofazat 4 kV Sadu I — Sibiu, în lungime de 17 km;

*) Ing. Oskar von Miller a fost și fondatorul celebrului Muzeu tehnic german din München (1906).

**) În acea perioadă CET Tîrnăveni avea o putere totală instalată de 24 800 kW.

*) Potrivit actualei împărțiri administrative, această regiune cuprinde județele: Alba — Sibiu — Mureș și parțial județele: Hunedoara — Brașov — Harghita.

**) Soluția nu trebuie să surprindă. Ne găsim în 1895, într-o zonă de păduri întinse, în care combustibilul cel mai ieftin era lemnul de foc, iar grupul termic era de rezervă.

— stația de conexiuni și transformare din Sibiu 4000/220/110 V;

— rețeaua de distribuție primară monofazată de 4 kV din Sibiu și primele posturi de transformare 4000/210/105 V;

— rețeaua de distribuție de joasă tensiune monofazată 210/105 V și iluminatul public pe străzile electrificate.

Toate aceste instalații au fost puse în funcțiune la 19 decembrie 1896, dată care trebuie considerată ca cea a începutului electrificării orașului Sibiu.

Dezvoltarea rapidă a electrificării orașului Sibiu și începerea electrificării localităților din împrejurimi, ca și alegerea necorespunzătoare pentru dezvoltarea în perspectivă a caracteristicilor instalațiilor electrice — în special a c.a. monofazat *) de 42 Hz — au obligat Uzina electrică Sibiu la luarea în permanență de măsuri, pe de o parte de amplificare, iar pe de altă parte de modificare a caracteristicilor tehnice ale instalațiilor respective.

Principalele etape în evoluția instalațiilor electroenergetice ale orașului Sibiu, de la primele începuturi și pînă la sfîrșitul anului 1931, cînd orașul Sibiu a început să fie alimentat cu energie electrică și de la CTE Tîrnăveni prin rețeaua SETA—dată la care se poate considera că au fost soluționate principalele probleme electroenergetice ale acestui oraș, deschizîndu-i-se în același timp și perspectiva unei dezvoltări normale a electrificării — sînt următoarele:

Perioada 1896—1899. Datorită variațiilor și neregularităților debitului rîului Sadu și unei acumulări insuficiente, care conduceau la o funcționare neregulată a grupurilor hidro, s-a instalat în 1898 la Sadu un al doilea grup termic, format dintr-o mașină cu abur de 350 CP, cuplată cu un generator monofazat de 4200 V, 42 Hz.

La sfîrșitul anului 1899, puterea totală instalată a centralei electrice Sadu I era, astfel, de 1140 CP, din care 520 CP în două grupuri hidro și 620 CP în două grupuri termo.

În această perioadă, în 1897, prin racorduri la LEA 4 kV Sadu—Sibiu se electrifică orașul Cisnădie și comuna rurală Sadu, la 4000/210/105 V.

Perioada 1900—1913. Creșterea consumului și cererile de noi racorduri au pus problema unei amplificări mai importante a instalațiilor de producere a energiei electrice, în care scop s-au luat următoarele măsuri:

— S-a instalat în substația Sibiu o centrală Diesel-electrică de vîrf și de rezervă, pusă în funcțiune în 1904, echipată cu două grupuri Diesel de cîte 150 CP fabricație Loebersdorf și generatoare Ganz 115 kVA 4100 V monofazat, 42 Hz, în total 300 CP 230 kVA.

— S-au amplificat instalațiile hidroelectrice prin construirea pe rîul Sadu a unei noi centrale, care a fost amplasată la circa 5 km în amonte de centrala Sadu I. Centrala hidroelectrică Sadu II a fost începută în 1905 și pusă în funcțiune în 1907, fiind echipată cu două grupuri identice: turbină Francis 550 CP și generator Ganz 450 kVA, 11 000 V monofazat, 42 Hz.

— S-a trecut la înlocuirea turbinelor Girard de la Sadu I prin turbine Francis mai mari, de 350 CP fiecare, avînd un randament mai bun, precum și înlocuirea generatorului cu abur cu altul de 350 CP. La primul grup hidro, înlocuirea s-a făcut în 1902, la al doilea în 1905.

În 1903 are loc o nouă amplificare a instalațiilor de producere, prin instalarea în centrala Diesel Sibiu a unui al treilea grup de 150 CP, identic cu primele două.

Instalațiile de transport și distribuție se amplifică în primul rînd prin construirea și punerea în funcțiune, în același timp cu CHE Sadu II, a liniei de transport monofazată 10 kV 24 km Sadu II — Sibiu și a stației Sibiu 10/4 kV.

Prin aceste amplificări a devenit posibilă atît extinderea rețelelor electrice de distribuție din orașul Sibiu, cît și alimentarea cu energie electrică a localităților învecinate.

Prin racorduri de 4 kV au fost electrificate: Guștrița (1901), Turnișor (1905), Șelimbăr (1906), iar prin racorduri de 10 kV: Șura Mare (1907), Ocna Sibiului (1908) și Șura Mică (1912).

*) Nu trebuie uitat că în această perioadă existau tendințe care își disputau întîietatea în ceea ce privește caracteristicile energiei electrice: c.c., c.a. monofazat și c.a. trifazat, fiecare din aceste alternative avînd partizani și adversari reputați, plus frecvența de 60, 50 sau 42 Hz.

Perioada 1914—1920 corespunde cu primul război mondial, și, deși creșterea consumului și extinderea rețelelor de joasă tensiune ar fi justificat noi amplificări și în celelalte categorii de instalații, din cauza restricțiilor economice acestea au fost foarte reduse. Se pot menționa, totuși, următoarele lucrări:

— instalarea în 1914 în CTE Sibiu a unui grup Diesel-electric de 750 CP;

— instalarea în anul 1916 în CHE Sadu II a unui al treilea grup: turbină Francis de 600 CP și generator de 450 kVA, 11 000 V monofazat, 42 Hz.

În instalațiile de transport și distribuție, în afara extinderilor rețelelor din localitățile deja electrificate, au mai fost racordate în 10 kV localitățile Tălmaciu (1911) și Hamba (1917).

Perioada 1920—1930 a fost cea mai grea din istoria exploatării instalațiilor electroenergetice ale orașului Sibiu, deoarece:

a) Caracteristicile energiei electrice sînt necorespunzătoare: c.a. monofazat 42 Hz cu tensiunile: 10 kV, 4 kV, 210 V și 105 V, care, nefiind normale, creează dificultăți atît în exploatarea instalațiilor U.E. Sibiu, cît și în posibilitățile de utilizare a energiei electrice de către consumatori, în special a celor de forță, care la Sibiu au fost de la început deserviți din instalațiile publice.

b) Instalațiile au devenit insuficiente și, fiind vechi și uzate—în special cele de producere—, nu mai puteau face față cererilor de putere și de energie electrică în continuă creștere.

În această situație U.E. Sibiu ia următoarele măsuri:

— Să se treacă la producerea c.a. trifazat de 50 Hz și să se deservească consumatorii la tensiunea normalizată de 3 × 220/127 V, care permitea utilizarea electromotoarelor de 380/220 V.

Tensiunile de producere, transport și distribuție primară să fie deocamdată păstrate, schimbarea lor antrenînd modificări importante în instalații și cheltuieli mari.

— Să se amplifice la maximum centralele existente, odată cu transformarea instalațiilor pentru noile caracteristici ale energiei electrice.

— Întrucît centrala din Sibiu nu mai putea fi amplificată, peste o anumită limită, să se asigure acoperirea deficitului de putere și energie electrică din exterior.

Întreaga perioadă 1920—1930 este caracterizată printr-o intensă activitate în vederea realizării acestor obiective, fără a se întrerupe sau frîna, pe cît posibil, extinderile normale în localitățile deja electrificate, ca și electrificarea unor noi localități.

Primul obiectiv și parțial cel de-al doilea au putut fi atinse pînă în anul 1927, ceea ce a permis ca la 6 iunie 1927 instalațiile electroenergetice ale U.E. Sibiu să fie trecute în c.a. trifazat 50 Hz, iar rețeaua electrică de distribuție de joasă tensiune din Sibiu la 3 × 220/127 V. Pînă la această dată s-au executat următoarele lucrări mai importante:

a) La centrala electrică Sadu I:

— instalarea, în anul 1926, a unui nou grup hidro, format din turbină Francis 500 CP și generator ASEA 450 kVA, 4100 V c.a. trifazat, 50 Hz, amplificare posibil de realizat datorită amenajării CHE Sadu II, în amonte;

— rebobinarea, în anul 1927, a celor două generatoare monofazate de la grupurile de 350 CP, acestea fiind transformate pentru c.a. trifazat 4100 V, 50 Hz, 300 kVA fiecare;

— scoaterea din funcțiune în 1928 a celor două grupuri termice.

Prin aceste lucrări CE Sadu I a fost transformată în centrală hidroelectrică cu o putere totală instalată în grupuri hidraulice de 1200 CP și a devenit astfel CHE Sadu I.

b) La CHE Sadu II:

— instalarea în anul 1926 a unui al patrulea grup turbină Francis 680 CP cu generator 550 kVA, 11 000 V c.a. trifazat, 50 Hz;

— rebobinarea pe rînd, în anii 1926—1927, a celor trei generatoare monofazate de la primele trei grupuri 2 × 550 CP și 1 × 600 CP, care au fost transformate pentru c.a. trifazat 50 Hz, 11 000 V, de, respectiv, 2 × 500 kVA și 1 × × 550 kVA.

În felul acesta puterea instalată a CHE Sadu II a fost ridicată la 2380 CP.

c) La centrala Diesel-electrică Sibiu :

— instalarea, în 1926, a unui grup cu motor Diesel în doi timpi de 1800 CP şi generator de 1350 kVA, 4100 V c.a. trifazat, 42 Hz ;

— instalarea, în 1928, a unui grup cu motor Diesel în doi timpi de 3300 CP — cel mai mare din ţară la acea dată — cuplat cu generator de 2750 kVA, 4100 c.a. trifazat, 50 Hz.

Din cele patru grupuri existente 3 × 150 CP şi 1 × 750 CP s-a rebobinat în 1929 numai generatorul grupului de 750 CP, care a fost transformat pentru 750 kVA, 4100 V c.a. trifazat, 50 Hz, iar cele trei grupuri de cîte 150 CP au fost demontate.

Prin aceste amplificări şi transformări, uzina Diesel Sibiu a atins la sfîrşitul perioadei, 1929, puterea totală instalată de 5850 CP.

d) Alimentarea din alte surse

Racordarea în anul 1914 la LEA 4 kV Sadu I Sibiu a comunei Tălmaciu a făcut posibilă — fără cheltuieli mari — instalarea în anul 1925 a unui generator de c.a. trifazat 4100 V, 50 Hz, 500 kVA la uzina de forţă a întreprinderii forestiere din Tălmaciu, antrenat de maşina cu abur de 1000 CP a acestei întreprinderi. Această interconexiune constituia însă numai o legătură de rezervă pentru cazuri de avarii în instalaţiile U.E. Sibiu.

e) La instalaţiile de transport şi distribuţie

Lucrările din această categorie au avut cel mai mare volum şi de aceea au fost etapizate pe o durată mai lungă.

În primul rînd au fost trifazate toate liniile de transport şi cele de distribuţie principale de 4 kV şi 10 kV.

Oraşele Sibiu şi Cisnădie au fost alimentate integral în trifazat, în timp ce comunele rurale cu consumatori de lumină şi sarcini mici de forţă au fost racordate iniţial monofazat la liniile de 4 şi 10 kV trifazate — căutîndu-se a se echilibra sarcinile pe cele trei faze — însă practic rămînînd în situaţia dinainte. Trifazarea acestor racorduri, ca şi introducerea tensiunii normalizate de utilizare de 380/220 V a rămas să se execute mai tîrziu.

În această perioadă atenţia a fost îndreptată asupra oraşelor Sibiu şi Cisnădie, care puneau probleme dificile, atît datorită numeroşilor consumatori de forţă, cît şi întinderii şi complexităţii reţelelor de distribuţie.

În oraşul Sibiu s-au creat patru puncte de alimentare, care au fost alimentate prin fideri trifazaţi de 4 kV din staţia de 4 kV a centralei Diesel Sibiu.

Reţeaua de distribuţie primară monofazată de 4 kV existentă a fost apoi alimentată din cele patru PA, căutîndu-se a se echilibra cît mai bine sarcinile pe cele trei faze. Concomitent a început şi construirea unei reţele noi de distribuţie de 4 kV trifazat, care să deservească în special pe principalii consumatori de forţă.

Posturile de transformare alimentate din reţeaua de 4 kV monofazat au rămas în continuare în aceeaşi situaţie, în timp ce în posturile de transformare alimentate din reţeaua de 4 kV trifazat s-au instalat transformatoare noi de 4000/220/127 V, sau s-au montat cîte trei transformatoare vechi monofazate, în conexiune triunghi-stea.

Reţeaua de distribuţie de joasă tensiune a rămas în aceeaşi situaţie pentru porţiunile alimentate din posturile de transformare monofazate şi a fost trifazată sau repartizată pe cele trei faze pentru porţiunile alimentate din noile posturi de transformare trifazate.

Perioada 1931—1950. Începutul acestei perioade este marcat de soluţionarea problemei acoperirii necesarului de putere şi energie electrică cerut de dezvoltarea oraşului. Într-adevăr, după executarea, în cursul anilor 1930 şi 1931, a lucrărilor necesare, la 22 decembrie 1931 s-a putut începe alimentarea cu energie electrică a oraşului Sibiu în 60 kV din exterior, de la CET Tîrnăveni prin reţeaua SETA.

Datorită acestei situaţii, cele trei centrale proprii nu au mai fost amplificate, U.E. Sibiu limitîndu-se la uşoare îmbunătăţiri care să facă posibilă funcţionarea lor la capacitatea nominală.

Au fost continuate însă lucrările necesare pentru transformarea reţelelor electrice de distribuţie, şi în special a celor de joasă tensiune, pentru funcţionarea la tensiunile 220/127 V şi 380/220 V.

În aceeaşi perioadă s-a urmărit şi realizarea trecerii liniilor electrice de distribuţie regională care alimentau localităţile din jurul Sibiului de la 4 kV şi 10 kV la 15 kV.

La nivelul anului 1938, situaţia electroenergetică a Municipiului Sibiu era următoarea :

a) Reţeaua de distribuţie de înaltă tensiune :
— 62,7 km — linii de 4 kV ;
— 13,5 km — linii de 10 kV ;
— 2,6 km — linii de 15 kV ;
— 339 unităţi de transformare cu 11 250 kVA instalaţii.

b) Reţeaua de distribuţie de joasă tensiune :
— 220/127 V şi 380/220 V : în total 183 km ;
— lămpi electrice publice : aprox. 2850 ;
— abonaţi : aprox. 17 500 (din care circa 4600 paušal).

c) Energia electrică produsă în centralele proprii şi cumpărată de la SETA : aprox. 18 000 000 kWh, din care peste 50% consumată pentru forţă motoare.

Prin înfiinţarea, în 1948, a Întreprinderii regionale de electricitate Sibiu, care a preluat instalaţiile U.E. Sibiu şi SETA, prin construirea în 1949 a LEA 110 kV Tîrnăveni — Cîmpia Turzii — Cluj (în funcţiune în prima perioadă sub 60 kV), şi prin organizarea la Sibiu, în 1950, a dispecerului regional pentru instalaţiile interconectate din această zonă, s-au pus bazele sistemului electroenergetic al Ardealului central, care a constituit ulterior o importantă parte a sistemului electroenergetic naţional.

Bibliografie

[1] * * * SETA. *Alimentarea cu electricitate a oraşelor Sibiu, Mediaş, Sighişoara şi a comunelor învecinate.* Memoriu, Sibiu, 1923.

[2] * * * Ministerul Industriei şi Comerţului. *Statistica instalaţiilor de forţă din România.* Bucureşti, 1925.

[3] Dachler, S. *Instalaţiile electrice din Sibiu.* IRE Bucureşti, 1929.

[4] Dachler, S. *Lucrări de restaurare efectuate la CHE Sadu II a Uzinei electrice Sibiu.* IRE Bucureşti, 1929.

[5] Pagani, A. *Exemples de réglage de tension par compensation dans un réseau de transport en cours de développement.* IRE Bucureşti, 1933.

[6] * * * APDE. *Statistica uzinelor electrice din România, 1936—1938—1941.*

[7] Dachler, S. *Energie electrică în serviciul industriei.* Bul. APDE, ian.-febr. 1937.

[8] Thiess, A. *50 ani Uzina electrică Sibiu (1896—1946).* Sibiu, 1950.

[9] Gürtler, G. *Note privind electrificarea oraşelor Sibiu, Mediaş, Sighişoara şi a comunelor învecinate.* Sibiu, 1972.

[10] * * * IRE Sibiu. *Note şi materiale documentare.* Sibiu, 1972.

Recenzii

GH. IACOBESCU şi colectiv. **Reţele electrice, probleme.** Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1977, 429 p.

Cu excepţia unei cărţi similare, dar de nivel mediu (Ene M. şi Popa M. : Culegere de probleme de electrotehnică şi electroenergetică, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1964), cartea cu titlul de mai sus reprezintă prima lucrare de nivel superior de acest fel elaborată în ţara noastră, ea fiind concepută şi realizată ca o completare a materialului didactic pentru disciplina de reţele electrice, după publicarea în anul 1975 în aceeaşi editură a cursului de Reţele electrice, pentru subingineri, de Gh. Iacobescu, I. Iordănescu şi R. Ţenovici.

Structurată aşadar pe tematica cursului, cartea conţine 11 capitole, care înglobează 155 de probleme rezolvate în întregime, fără a mai fi prezentate enunţuri de probleme cu sau fără rezultate.

Neincluderea în volum şi a unor probleme enunţate cu sau fără rezultate nu aduce, credem, nici un prejudiciu valorii didactice şi ştiinţifice a lucrării, pentru că într-adevăr — aşa cum arată şi autorii în prefaţa cărţii — problemele soluţionate acoperă o gamă foarte largă de aspecte, astfel încît formularea unor enunţuri suplimentare nu ar fi adus prea multe elemente noi.

Enunţurile şi soluţionările problemelor aparţinînd diferitelor capitole ale cărţii sînt precedate de breviare de calcul, în care se prezintă sintetizat aspecte teoretice esenţiale, formule de calcul şi metode de rezolvare.

Problemele fiecăruia dintre cele 11 capitole sînt prezentate gradat în ceea ce priveşte nivelul şi complexitatea lor, şi în acelaşi timp s-au introdus în cursul rezolvării acestora unele explicaţii sumare pentru a uşura înţelegerea lor, reducîndu-se astfel şi timpul de lucru necesar.

Numărul de probleme şi complexitatea lor acoperă aproape în întregime aspectele teoretice şi tehnice specifice fiecărui domeniu abordat de fiecare din cele 11 capitole ale cărţii.

Astfel, capitolul 1 (18 probleme) tratează parametrii şi schemele echivalente ale liniilor şi transformatoarelor electrice. Se prezintă şi se rezolvă probleme privind parametrii lineici primari ai liniilor electrice, probleme privind parametrii transformatoarelor cu două şi trei înfăşurări, alegerea transformatoarelor din instalaţiile electrice de distribuţie a energiei.

Acelaşi capitol prezintă probleme privind schemele echivalente ale liniilor şi transformatoarelor cu două sau trei înfăşurări cu parametrii sub forma unor impedanţe sau admitanţe localizate (parametrii concentraţi).

Pentru liniile electrice şi transformatoarele cu două înfăşurări sînt prezentate probleme care se referă la cvadripolii echivalenţi în T sau π, iar pentru transformatoarele cu trei înfăşurări — schema echivalentă în stea.

Capitolul 2 (16 probleme) cuprinde analiza şi calculul căderilor şi pierderilor de tensiune în liniile şi reţelele electrice.

Problemele se referă în mod deosebit la linii şi reţele electrice trifazate cu sarcini echilibrate şi dezechilibrate de la configuraţiile simple la cele complexe.

Capitolul 3 înglobează 9 probleme referitoare la încălzirea conductoarelor liniilor electrice sub aspectul verificării acestora în privinţa fie a nedepăşirii curenţilor admisibili corespunzători anumitor temperaturi limită, fie a nedepăşirii temperaturilor limită.

Capitolul 4 (15 probleme) tratează pierderile de putere şi de energie în reţelele electrice. Sînt prezentate şi rezolvate probleme privind calculul pierderilor de putere şi energie în liniile electrice aeriene şi subterane şi în transformatoarele electrice, un accent deosebit punîndu-se pe reducerea pierderilor de energie electrică în reţele prin : micşorarea rezistenţelor electrice, îmbunătăţirea factorului de putere, ridicarea nivelului de tensiune, trecerea reţelelor la tensiuni mai înalte, aplatisarea curbelor de sarcină, utilizarea unor scheme de conexiuni optime, funcţionarea transformatoarelor după graficul regimului optim ş.a.

Capitolul 5 (27 probleme) se referă la criteriile tehnico-economice privind alegerea secţiunii conductoarelor liniilor electrice. Problemele prezentate şi rezolvate privesc determinarea secţiunii conductoarelor liniilor electrice în regim normal de funcţionare pe baza criteriului încălzirii admisibile, criteriului pierderii admisibile de tensiune şi criteriului economic, după cum liniile sînt de joasă şi medie tensiune cu o întindere relativ redusă, cu o întindere mai mare, sau sînt de înaltă tensiune.

Este de remarcat faptul că în cadrul determinării secţiunii conductoarelor liniilor electrice de medie şi înaltă tensiune pe criterii economice, un accent deosebit se pune pe metoda densităţii economice de curent, în care sens este utilizată prescripţia M.E.E. (PE 135/75) — Instrucţiuni privind determinarea secţiunii economice a conductoarelor în instalaţiile electrice de distribuţie de 1—110 kV.

Capitolul 6 (11 probleme) abordează domeniul specific al reglării tensiunii în reţelele electrice şi prezintă şi dă soluţii problemelor de reglare a tensiunii prin injecţie sau consum de putere reactivă, prin inserierea unei tensiuni adiţionale şi prin modificarea parametrilor reţelei.

Capitolul 7 (8 probleme) tratează factorul de putere în reţelele electrice. În acest capitol sînt prezentate şi rezolvate probleme ce constituie adevărate proiecte tehnice privind îmbunătăţirea factorului de putere atît în reţelele electrice exploatate de întreprinderile furnizoare de energie electrică, cît şi în cele exploatate de marii consumatori industriali, prin intermediul bateriilor de condensatoare.

Pentru rezolvarea problemelor prezentate s-au folosit prescripţiile M.E.E. (PE 120/75 şi PE 931/75), alegerea mijloacelor de compensare a puterii reactive făcîndu-se pe baza metodei cheltuielilor totale anuale actualizate minime.

Capitolul 8 (16 probleme) se referă la scurtcircuitele în reţelele electrice. Sînt prezentate şi rezolvate probleme privind scurtcircuitele simetrice şi nesimetrice în reţelele electrice trifazate, probleme privind determinarea parametrilor reţelelor pentru calculul curenţilor de scurtcircuit, precum şi probleme de calcul al curenţilor de scurtcircuit prin metoda directă şi metoda curbelor de calcul în unităţi absolute şi relative.

Capitolul 9 (15 probleme) prezintă domeniul liniilor electrice de transport şi regimurile de funcţionare a reţelelor electrice. În acest capitol sînt prezentate şi soluţionate probleme privind determinarea parametrilor lineici secundari ai liniilor electrice de transport al energiei electrice, plecînd de la ecuaţiile telegrafiştilor particularizate pentru cazul regimului permanent sinusoidal ($\underline{\gamma}$ — constanta de propagare a liniei şi $\underline{Z}_c$ — impedanţa caracteristică a liniei) pentru situaţiile în care lungimea liniilor $l = 500$ km.

Sînt prezentate şi rezolvate de asemenea probleme de calcul al instalaţiilor de transport al energiei electrice utilizînd schemele cvadripolilor echivalenţi în T şi π, luîndu-se în considerare apoi liniile fără pierderi, inclusiv liniile fără pierderi ce funcţionează în regim caracteristic sau cu tensiuni egale la capete, precum şi liniile care funcţionează în gol.

Capitolul 9 al cărţii abordează, de asemenea, şi probleme privind regimul permanent de funcţionare a reţelelor electrice prin diverse metode: metoda tensiunilor nodale, metoda matricială cu mărimi complexe şi cu mărimi reale, metoda Seidel-Gauss, metoda Newton şi metoda Dimo a echivalenţilor REI.

Capitolul 10 (13 probleme) se referă la stabilitatea funcţionării sistemelor electroenergetice şi cuprinde probleme care urmăresc în principal lămurirea fenomenelor fundamentale legate de stabilitatea statică şi dinamică.

În sfîrşit, capitolul 11 (7 probleme) abordează calculul mecanic al conductoarelor LEA şi cuprinde probleme care se referă la determinarea sarcinilor de calcul pentru conductoare şi calculul săgeţilor pentru diferite temperaturi în vederea trasării curbelor de montaj.

În rezolvarea problemelor este utilizată prescripția M.E.E. (PE 104/71) — Construcția liniilor aeriene de energie electrică peste 1000 V.

Scurta prezentare a conținutului cărții scoate în evidență faptul că aceasta nu numai că este completă din punct de vedere al necesității pregătirii viitorului subinginer și chiar inginer electroenergetic în domeniul rețelelor electrice, dar ea acoperă aproape în întregime aria problemelor cu care aceștia se vor confrunta în activitatea lor practică de proiectare, construcții-montaj sau de exploatare, după absolvirea studiilor.

Este de remarcat de asemenea faptul că tematica problemelor din fiecare capitol conține, aproape în totalitate, elemente, situații și informații specifice instalațiilor electroenergetice din țara noastră, utilizînd în același timp prescripțiile, instrucțiunile și reglementările tehnico-economice în vigoare ale Ministerului Energiei Electrice.

Integrînd așadar elementele teoretice și practice ale activității de cercetare, proiectare și producție din sectorul rețelelor electrice, cartea constituie nu numai o valoroasă lucrare cu caracter didactic, ci și un prețios ajutor pentru personalul tehnico-economic de specialitate din sectorul electroenergetic.

Avînd în vedere deosebita utilitate a unei asemenea lucrări, atît din punctul de vedere al învățămîntului tehnic superior de specialitate din țara noastră, cît și din punctul de vedere al folosirii ei de către personalul tehnico-economic de profil din producție și cercetare, o eventuală ediție ar trebui să mai cuprindă referiri și la : specificul rețelelor electrice rurale, urbane și industriale ; tratarea LEA de medie și joasă tensiune din punctul de vedere al calculului electric și mecanic atunci cînd acestea sînt cu coronament special (orizontal și clastic la medie tensiune și, respectiv, cu conductoare torsadate la joasă tensiune) ; includerea eventuală a unui subcapitol privind tratatea neutrului rețelelor electrice ; abordarea într-un capitol sau subcapitol a problemei siguranței în funcționare a rețelelor electrice, ca și a problemelor de coexistență a rețelelor de energie electrică cu rețelele de telecomunicații ; dezvoltarea capitolului aferent calculului mecanic al conductoarelor LEA prin luarea în considerare și a fenomenelor de vibrații, oscilații și galopare. N-ar fi contraindicat ca în acest capitol să se includă și calculul de dimensionare și verificare și a celorlalte părți constructive ale LEA în afara conductoarelor, inclusiv dimensionarea fundațiilor suporturilor (stîlpilor) LEA.

După opinia noastră, cu completările propuse, inclusiv promovarea cu mai mult curaj a tehnicii moderne de calcul (utilizînd programele de calcul din biblioteca „Electra" a ISPE, de exemplu), cartea, foarte valoroasă, a prof. dr. ing. Gh. Iacobescu și colectiv de la Institutul politehnic București, ar răspunde și mai bine cerinței majore a zilelor noastre de integrare a învățămîntului cu cercetarea și producția.

Ing. **Romulus Sfichi**

Cuprinsul revistei "Energetica" vol. 25 (1977)

I. Energetică generală

1. Vasilescu, N. : *Consumul de energie pentru energie ; randamentul extern al unei centrale sau al unui program*, nr. 5, p. 131—136.
2. Morțun, C. : *Electrificarea Județului Timiș*, nr. 9, p. 347—350.
3. Alexe, Fl. : *Asupra interdependenței dintre dezvoltarea economică și consumul energetic*, nr. 10, p. 387—390.

II. Termoenergetică

1. Mazilu, E. : *Proiectarea construcțiilor mecanice solicitate în condiții de fluaj, pe baza conceptului de fiabilitate*, nr. 1, p. 8—18.
2. Athanasovici, V. : *Variația diurnă a necesarului de căldură pentru încălzire și implicații privind reglarea sa*, nr. 1, p. 18—22.
3. Staicu, C. I. : *Împotriva coeficientului de schimb de căldură prin convecție α*, nr. 1, p. 37—39.
4. Kertész, N. : *Determinarea parametrilor aburului umed din turbinele cu abur clasice la probele termotehnice de performanță*, nr. 2, p. 48—51.
5. Bolma, I., Chercea, G. și Schuman, C. : *Utilizarea calculatoarelor electronice pentru efectuarea calculului termic al cazanelor de abur*, nr. 2, p. 51—57.
6. Mihăescu, L. și Mihăescu, T. : *Contribuții la studiul dinamicii morilor cu ciocane*, nr. 2, p. 58—63.
7. Alexe, Fl. și Manea, D. : *Reducerea pierderilor prin șoc la turbinele energetice cu abur și gaze cu reacțiune redusă*, nr. 3—4, p. 81—86.
8. Mihăescu, L. : *Timpul de ardere a cărbunelui pulverizat, în funcție de viteza relativă mediu-particulă. Contribuții la determinarea acestuia în funcție de spectrul hidrodinamic al curgerii*, nr. 3—4, p. 87—91.
9. Pillat, D.V. : *Evoluția eroziunii fasciculelor de țevi ale cazanelor de abur*, nr. 3—4, p. 91—95.
10. Nahhas, A. : *Analiza tehnico-economică a variantelor instalațiilor de turbine cu gaze*, nr. 3—4, p. 96—101.
11. Kertész, N. : *Calculul influenței modificărilor regimului de lucru al turbinelor cu condensație cu o priză reglabilă pentru termoficare urbană, de tip VT, asupra consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice*, nr. 5, p. 136—141.
12. Nahhas, A. : *Principii de alegere a schemelor instalațiilor de turbine cu gaze pentru termoficare*, nr. 5, 141—149.
13. Stanisavlievici, L. : *Stabilirea agresivității apei de răcire*, nr. 6, p. 173—180.
14. Kertész, N. : *Calculul influenței modificării principalilor parametri ai ciclului termic al unei turbine cu abur cu condensație cu o priză reglabilă pentru termoficare urbană, de tip VT, asupra consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice*, nr. 6, p. 181—182.
15. Leca, A. : *Analiza exergetică a schimbătoarelor de căldură*, nr. 7, p. 216—221.
16. Stan, N., Stan, M., Prisecaru, I. și Leca, A. : *Performanțele schimbătoarelor de căldură abur-apă pentru prepararea apei fierbinți ale grupului turbogenerator VT—50*, nr. 7, p. 222—227.
17. Mihăescu, L. și Mihăescu, T. : *Metode rapide pentru calculul morilor cu ciocane și ventilator. Contribuții la determinarea capacității de uscare a cărbunilor*, nr. 7, p. 232—244.
18. Chirica, M., Georgescu, G. și Marinescu, V. : *Posibilități de utilizare a tratării magnetice a apei în sistemul energetic*, nr. 8, p. 289—293.
19. Stanisavlievici, L. : *Regimul chimic alcalin al apei și folosirea hidrazinei*, nr. 9, p. 317—321.
20. Gooss, W. : *Rolul impurităților mecanice asupra evoluției calității uleiurilor additivate de turbină*, nr. 9, p. 322—328.
21. Chirica Elena : *Stadiul actual de aplicare a procedeului de tratare a apei prin osmoză inversă*, nr. 10, p. 367—375.
22. Țuțuianu, O. : *Centrala electrică Filaret-București, un capitol de seamă în istoria energeticii românești*, nr. 10, p. 390—396.
23. Lupescu, L. și Turcu, L. : *Perfecționarea metodelor fiabilistice de analiză a conductelor de înaltă temperatură care lucrează în condiții de fluaj*, nr. 11—12, p. 415—420.
24. Armencoiu, N., Rențea, D., Dumitrache, R. și Popovici, V. : *Influența centralelor termice locale asupra siguranței în alimentarea cu căldură în perioada de formare a sistemelor de termoficare*, nr. 11—12, p. 465—468.
25. Mihăilescu, D., Canciu, L., Rențea I. și Giuvelea, P. : *Unele aspecte referitoare la funcționarea insulară a grupurilor din centralele termoelectrice cu consumul platformelor industriale, învecinate*, nr. 11—12, p. 488—490.

26. Pavnotescu, O., Răducanu, C. şi Valea, E.: *Metodă de apreciere a temperaturii materialului ţevilor suprafeţelor de schimb de căldură ale cazanelor de abur în condiţii concrete de funcţionare*, nr. 11—12, p. 490—492.

III. Electroenergetică

1. Selischi, Al.: *Influenţa perturbaţiilor din instalaţiile electroenergetice asupra funcţionării motoarelor electrice din serviciile interne ale centralelor termoelectrice*, nr. 1, p. 23—28.
2. Cîrţînă, Gh., Georgescu, Gh. şi Guşă, M.: *Model matematic de simulare pentru repartizarea economică a condensatoarelor într-o reţea radială*, nr. 1, p. 29—32.
3. Popescu, V. şi Drăghici, Gh.: *Aparat pentru transfer de date*, nr. 1, p. 34—37.
4. Chenzbraun, I.: *Metodologie şi program de calcul al variaţiei frecvenţei sistemului energetic în cazul unor avarii cu deficit de putere*, nr. 2, p. 64—68.
5. Raicu, V. C.: *Filtre de armonici pentru tracţiunea electrică. Particularităţi ale instalaţiilor de protecţie prin relee şi automatizare*, nr. 2, p. 68—75.
6. Bălan, Gh., Badea, N., Niculescu, C., Pispiris, S. şi Pitiş, C.: *Influenţa instalaţiilor electrice de înaltă tensiune de curent alternativ asupra cablurilor de telecomunicaţii de pe teritoriul oraşelor mari*, nr. 3—4, p. 101—105.
7. Stavrescu, O.: *Economia de energie şi iluminatul*, nr. 3—4, p. 117—119.
8. Dimo, P.: *Revoluţie în conceptele cercetării sistemelor electroenergetice?*, nr. 5, p. 125—130.
9. Panaite, V.: *Aspecte ale fiabilităţii întreruptoarelor automate de înaltă tensiune*, nr. 5, p. 149—158.
10. Buhuş, P., Chiuţă, I. şi Comănescu, Gh.: *Alegerea secţiunilor pentru liniile la care devine economică folosirea mai multor conductoare pe fază*, nr. 6, p. 197—200.
11. Iacob, D.: *Comportarea turbogeneratoarelor echipate cu sisteme de excitaţie cu maşini de curent alternativ şi redresoare rotative, în cazul fenomenelor tranzitorii*, nr. 6, p. 207—211.
12. Selischi, Al.: *Alegerea reactanţei pentru transformatoarele de alimentare a serviciilor interne*, nr. 7, p. 252—256.
13. Iacob, D.: *Supratensiunile din circuitul de excitaţie*, nr. 7, p. 256—261.
14. Brătianu, C. şi Popescu, Cr.: *Posibilităţi de optimizare a sistemelor informaţionale caracteristice blocurilor termoenergetice de mare putere*, nr. 7, p. 261—264.
15. Dimo, P.: *Modelul REI, indicatorii şi sparsitatea în analiza sistemelor electroenergetice interconectate*, nr. 8, p. 267—279.
16. Prelipcean, I. şi Sfichi, R.: *Consideraţii privind calculul factorului de reducere introdus în conductorul de protecţie al LEA 110 kV simplu circuit aflate în paralelism cu linii de telecomunicaţii*, nr. 8, p. 297—301
17. Iacob, D.: *Funcţiile de transfer şi dimensionarea elementelor unui sistem de excitaţie fără inele şi perii în circuitul generatorului principal cu un singur generator de excitaţie inversat (indus rotativ, inductor static) autoexcitat*, nr. 8, p. 301—306.
18. Brătianu, C. Şi Popescu, Cr.: *Analiza structurală a sistemului informaţional al grupului românesc de 330 MW*, nr. 8, p. 307—310.
19. Constantinescu, J. şi Homoş Mariana: *Metodă practică de calcul pentru studiul stabilităţii statice a sistemelor electroenergetice complexe*, nr. 9, 328—336.
20. Gavrilă, Gh. şi Mathé, B.: *Cercetări noi privind cauzele conturnării izolaţiei întreruptoarelor IO—20 kV, 630 A şi posibilităţi de eliminare a avariilor datorite acestora*, nr. 9, p. 336—347.
21. Lokodi, Z. şi Kerekes, I.: *Rezolvarea unor cazuri speciale de reconstituire a schemei de conexiuni la circuite secundare de curent*, nr. 10, p. 375—384.
22. Covar, E.: *Asigurarea deconectării circuitelor defecte la refuz de declanşare a întreruptoarelor circuitelor, în staţiile de 6 kV din întreprinderi industriale*, nr. 10, p. 385—387.
23. Mangu, G. t *Metode de estimare a indicatorilor de fiabilitate*, nr. 11—12, p. 408—415
24. Nitu, V. I., *Petrescu, A. M.* şi Sevastru, A.: *Metodă pentru evaluarea siguranţei pe timp scurt pentru verificarea condiţiilor de funcţionare*, nr. 11—12, p. 421—429.
25. Mihăileanu, C., Stoica, A., Perea, A. şi Crăciun, I.: *Indicatori specifici de daună corespunzători întreruperilor în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali de pe platformele petrochimice*, nr. 11—12, p. 429—433.
26. Cefranov, V. şi Sfichi, R.: *Consideraţii privind criteriile de stabilire a schemelor optime de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali*, nr. 11—12, p. 433—437.
27. Nitu, V. I., Raşcu, P., Stoleru, B. şi Voinea, D.: *Aspecte privind comportarea la cutremur a instalaţiilor electrice. Concluzii pentru proiectare*, nr. 11—12, p. 439—449.
28. Sotri, S. şi Dugan, V.: *Unele soluţii adoptate la partea de excitaţie a turbogeneratoarelor din CET Galaţi în scopul îmbunătăţirii siguranţei în funcţionare a acestora*, nr. 11—12, p. 449—454.
29. Petran, Gh. şi Răsteanu, C.: *Analiza efectelor poluării marine asupra siguranţei în funcţionare a instalaţiilor IRE Constanţa şi măsuri pentru limitarea lor*, nr. 11—12, p. 454—458.
30. Albert, H.: *Aspecte privind siguranţa nodurilor de sistem*, nr. 11—12, p. 469—471.
31. Nitu, V. I., Moraite, G. şi Stein, M.: *Mărirea siguranţei în funcţionare a sistemului energetic naţional prin acţiuni de separare*, nr. 11—12, p. 472—479.
32. Groza, L., Moraite, G. şi Cristovici, A.: *Căi de mărire a siguranţei în funcţionare a sistemului energetic cu zone cu balanţe puternic excedentare şi zone puternic deficitare*, nr. 11—12, p. 480—483.
33. Albert, H., Ciobanu, M., Creţu, Gh., Crăciun, N. şi Stein, M.: *Rolul şi concepţia insularizării centralelor electrice de termoficare de pe platformele industriale*, nr. 11—12, p. 483—487.

IV. Hidroenergetică

1. Seteanu, I. şi Popa, R.: *Optimizarea hidroenergetică în regim stocastic pentru sisteme de CHE în cascadă*, nr. 1, p. 1—7.
2. Dadu, V. şi Bedros, N.: *Determinarea cotei de instalare, în raport cu nivelul aval, a turbinelor de joasă cădere*, nr. 2, p. 45—48.
3. Zsembinszky, St., Voia, I. şi Avram, V.: *Eforturile hidrodinamice în partea de scurgere a turbinei-bulb*, nr. 6, p. 187—197.

V. Energetică nucleară

1. Manea, D.: *Posibilităţile de utilizare a unor părţi constructive ale turbinei F1C—330 la realizarea unei turbine cu abur saturat pentru CNE*, nr. 7, p. 222—227.
2. Dodu Viorica: *Metodica determinării fluxului de neutroni termici în interiorul zonei active, cu aplicaţii la reactoarele nucleare energetice*, nr. 8, p. 284—288.
3. Pop, M.G.M., Manea, D., Ursu Ecaterina, Şişchin, E. şi Manea, N.: *Analiză tehnico-economică pentru alegerea parametrilor hidraulici ai unui generator de abur cu străbatere forţată pentru CNE*, nr. 9, p. 311—316.
4. Cârdu, M.: *Aspecte tehnico-economice ale construcţiei turbinelor cu abur de mare putere destinate centralelor nuclearoelectrice*, nr. 10, p. 355—362.
5. Pop, M.G.M., Manea, D. şi Ursu Ecaterina: *Influenţa pornirilor sistemului nuclear de producere a aburului asupra duratei de viaţă a generatoarelor de abur din centralele nuclearoelectrice*, nr. 10, p. 367—375.

VI. Energetică industrială

1. Curievici, I. şi Segal, A.: *Studiul regimului termic al serelor*, nr. 6, p. 183—187.
2. Poeată, A., Ivas, D., Alexandrescu, Gh. V. şi Ilinca, M.: *Posibilităţi de calcul prin simulare numerică a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor industriali*, nr. 11—12, p. 406—408.
3. Grigoriu, I.: *Fiabilitatea subsistemelor energetice cuplate cu sisteme de producţie în industria chimică*, nr. 11—12, p. 458—461.
4. Nicolae, I.: *Siguranţa în funcţionare a sistemului energotehnologic de electroliză pentru producerea clorului, hidroxidului de sodiu şi hidrogenului*, nr. 11—12, p. 461—464.
5. Ciurel, Fl., Mironescu, N. şi Mihală, C.: *Consideraţii privind mărirea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor electrice din industria chimică, prin aplicarea unor soluţii noi*, nr. 11—12, p. 493—497.

VII. Din exploatare

1. Nicu, Vl.: *Influenţa recirculaţiei gazelor de ardere asupra consumului specific de căldură al unui bloc energetic*, nr. 1, p. 32—34.
2. Nicu, Vl: *Consumul de căldură de mers în gol al turbinelor cu termoficare*, nr. 2, p. 76—79.
3. Stănculescu, A.: *Manşoane şi procedee de manşonare pentru cablurile electrice*, nr. 3—4, p. 106—116.
4. Zsembinszky, St., Voia, I. şi Avram, V.: *Eforturile hidrodinamice în partea de scurgere a turbinei-bulb*, nr. 6, p. 187—197.
5. Lokodi, Z. şi Kerekes, I.: *Rezolvarea unor cazuri speciale de reconstituire a schemei de conexiuni la circuite secundare de curent*, nr. 10, p. 375—384.
6. Popescu H., Enescu, C., Peneacă, Gh. şi Pintea K.: *Comportarea instalaţiilor din centralele electrice de termoficare la seismul din 4 martie 1977*, nr. 11—12, p. 437—438.
7. Sotri, S. şi Dugan, V.: *Unele soluţii adoptate la partea de excitaţie a turbogeneratoarelor din CET Galaţi în scopul îmbunătăţirii siguranţei în funcţionare a acestora*, nr. 11—12, p. 449—454.
8. Petran, Gh. şi Răsteanu, C.: *Analiza efectelor poluării marine asupra siguranţei în funcţionare a instalaţiilor IRE Constanţa şi măsuri pentru limitarea lor.* nr. 11—12, p. 454—458.

VIII. Articole economice şi tehnico-organizatorice

1. Kilyeni, St., Luştrea, B., Crişan, O. şi Buta, A.: *Prognoza consumului de energie electrică şi putere de vîrf efectuată în zona unui IRE, utilizînd calculatorul FELIX C-256*, nr. 6, p. 201—206; nr. 7, p. 245—252; nr. 8, p. 293—296.
2. Ţuţuianu, O.: *Aspecte actuale privind analiza eficienţei sistemelor energotehnologice*, nr. 8, p. 267—279.

IX. Cronică

1. *** *A doua sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice organizată de IRE Suceava*, nr. 1, p. 40—41.
2. Dănilă, N. şi Niculescu, N.: *A V-a Consfătuire a termoenergeticienilor*, nr. 3—4, p. 120—121.
3. *** *Lucrările celei de-a 26 Sesiuni a CIGRE*, nr. 5, p. 159—169.
4. Sfichi, R.: *A doua Consfătuire a energeticienilor din judeţele Suceava şi Botoşani*, nr. 6, p. 212—214.
5. Oberst, L.: *A IV-a Conferinţă internaţională de iluminat*, nr. 9, p. 351; *Cel de-al 3-lea Congres „Lux Europa"*, nr. 9, p. 352; *Sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice „Probleme actuale ale iluminatului electric"*, nr. 9, p. 352.
6. *** *Al IV-lea Simpozion „Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice"*, nr. 11—12, p. 399—403.
7. *** *Acţiunea de stimulare a participării maselor la activitatea de creaţie ştiinţifică şi tehnică*, nr. 11—12, p. 498—500.

СОДЕРЖАНИЕ

Кокырлэ, Тр.: **К 25-летию журнала „Энергетика"**
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 1—2

КД 621.187.001.5 : 662.67
Казаку, К. и коллектив: **Комплекс исследований по реализации котла в 520 Т/час. для горючих сланцев**
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 3—6

КД 621.3.046.2.004.1
Стан Н., Мушатеску, В. и *Стан, М.:* **Оптимальная размерность цепей теплообменников в промышленности**

Представляется методология технико-экономической оптимизации, применяемой для размерности при проектировании установок по охлаждению или обогреванию технологических жидкостей, которые используются в качестве агента охлаждения или обогревания агенты в парообразном состоянии
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 6—9

КД 621.224.3.001.4
Димитриу, Р.: **Статистико-графический метод по определению специфической скорости и синхронного вращения на гидроагрегатах, оборудованных винтообразными турбинами, а также турбинами типа полу-Каплан, Каплан, бульбными турбинами и бульбными турбинами обратного действия**
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 9—12

КД 621.315.1 : 621.3.052.321.004.2
Предан, фл. и *Карайван, Д.:* **Оценка собственных технологических потреблений на защитных проводниках воздушных электрических линий**

Рассматривается значение потерь на защитных проводниках в случае, когда последние заземлены на каждой опоре воздушной электрической линии.
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 12—18

КД 621.3.016.25
Кырцинэ, Г. и *Александреску, В.:* **Относительно работы источников реактивной мощности, статической и регулируемой, с тиристорами**

Анализируется работа источников статической и регулируемой реактивной мощности с тиристорами при изменении нагрузки, их статическая характеристика; предлагается математическая адекватная модель и экономическое решение для компенсации искажающего режима.
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 19—23

КД 338.062.219 : 628.977.004.5
Динкулеску, П. и *Попеску, М.:* **Актуальные тенденции в эволюции источников света в контексте политки по экономии электрической энергии**
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 23—29

КД 621.165/187.002.1
Мэкриш, А. и *Тэнасе, Х. М.:* **Влияние предварительной сборки тепломеханической поставки на эффективность монтажных работ**

Анализируется с количественной точки зрения влияние степени предварительной сборки тепломеханической поставки на объем и длительность монтажных работ; применения имеют в виду реализацию установок, прилегающих к одному энергоагрегату котел-турбина
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 29—36

ИЗ ПРОШЛОГО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ РУМЫНИИ
Морцун, К.: **Электрификация уезда Сибиу**
Energetica 26 (1978), № 1, стр. 36—39

РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

Cocârlă, Tr. : **Die Zeitschrift „Energetica" am 25 Jahrestag**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 1 – 2

DK 621.187.001.5 : 662.67
Cazacu, C. und *Mitarbeiter* : **Komplexe Forschungsarbeiten zur Entwicklung des 520 t/h-Dampfkessels auf Ölschiefer**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 3 – 6

DK 621.3.046.2.004.1
Stan, N., Muşatescu, V. und *Stan, M.* : **Optimale Dimensionierung industrieller Wärmeaustauscherketten**
Es wird die Methodologie zur technisch-ökonomischen Optimierung vorgeführt, die zur projektmässigen Dimensionierung der Anlagen zur Abkühlung bzw. Erwärmung verfahrenstechnischer Medien angewandt werden kann, die dampfförmige Agenzien verwenden.
Energetica 26 (1978), H.1, S. 6 – 9

DK 621.224.3.001.4
Dimitriu, R. : **Statistisch-graphisches Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Schnelligkeit und der synchronen Drehzahl der mit Schrauben-, Halbkaplan-, Kaplan-, Bulb-und Bulb-Umkehrturbinen ausgestatteten Wasserkraftaggregate**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 9 – 12

DK 621.315.1 : 621.3.052.321.004.2
Predan, Fl. und *Caraivan, D.* : **Einschätzung des technologischen Eigenverbrauchs der Schutzleiter elektrischer Übertragungsleitungen**
Es wird der Wert der in den Schutzleitern entstehenden Verluste im Falle ihrer Erdung an jedem Mast der Übertragungsleitung erörtert.
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 12 – 18

DK 621.3.016.25
Cîrţînă, Gh. und *Alexandrescu, V.* : **Zur Frage des Betriebs statischer und mit Hilfe von Tiristorschaltungen geregelter Blindleistungsquellen**
Es wird der Betrieb statischer und mit Hilfe von Tiristorschaltungen geregelter Blindleistungsquellen bei Lastschwankungen untersucht und dessen Kennwerte gezeigt, wobei ein entsprechendes mathematisches Modell und eine wirtschaftliche Lösung zum Ausgleich des Verzerrüngsregimes vorgeschlagen.
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 19 – 23

DK 338.062.219.3 : 628.977.004.5
Dinculescu, P. und *Popescu, M* : **Gegenwärtige Tendenzen der Entwicklung von Lichtquellen im Rahmen der Politik der Elektroenergieeinsparung**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 23 – 29

DK 621.165/621.187.002.1
Măcriş, A. und *Tănase, H.M.* : **Einfluss der Vormontage wärmetechnischer Anlagenteile auf die Wirtschaftlichkeit der Montagearbeiten**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 29 – 36

AUS DER GESCHICHTE DER ELEKTRIFIZIERUNG RUMÄNIENS
Morţun, C. : **Die Elektrifizierung des Kreises Sibiu**
Energetica 26 (1978), H. 1, S. 36 – 39

SOMMAIRE

Cocârlă, Tr. : **La Revue „Energetica" à quart du siècle**
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 1 – 2

CD 621.187.001.5 : 662.67
Cazacu, C. et col. : **Complexe de recherches pour réaliser la chaudière de 520 t/h pour des schistes bitumineux**
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 3 – 6

CD 621.3.046.2.004.1
Stan, N., Muşatescu, V. et *Stan, M.* : **Dimensionnement optimal des chaines d'échangeurs de chaleur dans l'industrie**
On présente une méthodologie d'optimisation technique et économique appliquée pour l'établissement des dimensions dans la projection des installations pour le réfroidissement ou le chauffage des fluides technologiques qui utilisent comme agent de refroidissement ou chauffage, agents dans l'état de vapeurs.
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 6 – 9

CD 621.224.3.001.4
Dimitriu, R. : **Méthode statistique et graphique pour la détermination de la rapidité spécifique et le régime synchrone des hydroagrégats equipés avec turbines hélicoïdales, semi-Kaplan, Kaplan, à bulbe et à bulbe réversible**
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 9 – 12

CD 621.315.1 : 621.3.052.321.004.2
Predan, Fl. et *Caraivan, D.* : **L'evaluation de la consommation propre technologique dans le fil de garde des lignes électriques aériennes**
On examine la valeur des pertes dans le fil de garde des lignes électriques aériennes dans le cas qu'ils sont mises à la terre à chaqun pylône d'une ligne électrique aérienne à H.T.
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 12 – 18

CD 621.3.016. 5
Cîrţînă, Gh. et *Alexandrescu, V.* : **Sur le fonctionnement des sources de puissance réactive statiques et réglables à thyristors**
On analyse le fonctionnement et les caractéristiques des sources de puissance réactive statiques et réglables à thyristors aux variations de la charge, en proposant un modèle mathématique adéquat et une solution économique pour compenser le régime déformateur.
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 19 – 23

CD 338.062.219.3 : 628.977.004.5
Dinculescu, P. et *Popescu, M.* : **Tendences actuelles dans le développement des sources lumineuses dans le contexte de la politique de rationalisation de l'energie électrique**
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 23 – 29

CD 621.165/621.187.002.1
Măcriş, A. et *Tănase, H.M.* : **L'influence du préassemblage de la fourniture thermoméeanique sur l'efficience des travaux de montage**
Energetica 26 (1978) no. 1, p. 29 – 36

ASPECTS DU PASSÉ DE L'ELECTRIFICATION DE LA ROUMANIE
Morţun, C. : **L'électrification du district Sibiu**
Energetica 26 (1978), no. 1, p. 36 – 39

CONTENTS

Cocârlă, Tr. : **The monthly review „Energetica" — 25 years since its first issue**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 1 – 2

DC 621.187.001.5 : 662.67
Cazacu, C. & coll. : **Many-sided research for building a 520 t/h boiler on oil shale**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 3 – 6

DC 621.3.046.2.004.1
Stan, N., Muşatescu, V. and *Stan, M.* : **Optimal dimensions of industrial heat exchanger chains**
A technical economic optimization methodology feasible for the dimensioning during design of the installations for cooling or heating technological liquids used as steam cooling or heating agents is presented.
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 6 – 9

DC 621.224.3.001.4
Dimitriu, R. : **Statistical graphic method for determining the specific speed and synchronous rotation speed of hydroequipment with semi-Kaplan, Kaplan, bulb and reversible bulb turbines**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 9 – 12

DC 621.315.1 : 621.3.052.321.004.2
Predan, Fl. and *Caraivan, D.* : **Technological consumption evaluation of OHEL protection wires**
The value of protection wire losses when earthed at each pole is examined.
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 12 – 18

DC 621.3.016.25
Cîrţînă, Gh. and *Alexandrescu, V.* : **Operation of reactive statie and control sources with thyristors**
The operation of static and controllable reactive power sources with thyristors during load variation, during its static characteristics variation is analysed, a suitable mathematical model and economical solution for the distorted state compensation is proposed.
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 19 – 23

DC 338.062.219.3 : 628.977.004
Dinculescu, P. and *Popescu, M.* : **Present tendencies in the development of lighting sources in the present energy saving context**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 23 – 29

DC 621.165/621.187.002.1
Măcriş, A. and *Tănase, H.M.* : **Influence of thermomechanic accessories preassembling upon assembling work efficiency**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 29 – 36

ROMANIA'S PAST IN ELECTRIFICATION
Morţun, C. : **Electrification of Sibiu county**
Energetica 26 (1978), nr. 1, p. 36 – 39

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România. Redacţia: Bucureşti, Str. Doamnei 14—16 Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Preţul unui exemplar: 5 lei. Taxele poştale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I. P. I. c. 97

41 401

1978 JUL 31

E 2059

MW

R

REFERÁLVA

2

energetica

VOLUMUL XXVI
BUCUREŞTI
FEBRUARIE 1978

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1368

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE
ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 2 Februarie

Cuprinsul

		Pag.
N. Vasilescu	**Conducţia căldurii printr-un perete poros, străbătut de un curent de aer**	45—52
C. I. Stalcu	**Pierderea de presiune liniară la curgerea laminară**	52—54
C. Neaga	**Repartizarea economică a sarcinii între cazane funcţionînd în paralel**	55—56
Osváth Szabolcs	**Repartizarea optimă a debitelor de abur pe sursele Centralei electrice de termoficare Oradea**	57—61
M. Danilinc şi V. Mititiuc	**Studiul componentelor continue şi alternative ale tensiunii şi curentului redresat la funcţionarea în tampon a unui redresor cu o baterie de acumulatoare**	61—69
A. Gârbacea	**Mecanizarea lucrărilor de construcţii de linii electrice aeriene cu ajutorul elicopterului**	69—80
D. Gavrilă	**Încercarea manşoanelor şi a cutiilor terminale ale cablurilor electrice de forţă cu ajutorul radiaţiilor Roentgen**	81
DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI		
C. Morţun	**Electrificarea judeţului Hunedoara**	82—85
CRONICĂ		
N. Armencoiu	**A X-a Sesiune a Conferinţei Mondiale a Energiei**	85—94
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 66.012.001.5

Василеску, Н.: **Проводность тепла через пористую стенку, через которую проходит воздушный поток**

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 45–52

ДК 621.181.65

Стайку, К.: **Потеря линейного давления при ламинарном течении**

Применение метода общего размерного анализа, разработанного автором при определении физической формулы для потерь линейного давления при ламинарном течении. Были использованы только переменные, описывающие явление и значение физических величин, полученных при экспериментальных измерениях.

Energetica 26 (1978), №2, стр. 52–54

ДК 621.311.18.004

Неага, К.: **Экономическое распределение нагрузки между котлами, работающими параллельно**

Исходя из механических решений (определение минимума одной функции с большим числом переменных), в работе представляется расчетный метод экономического распределения нагрузки между котлами, методика, которая располагает распознавание характеристики работы каждого котла.

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 55–56

ДК 621.311.22/23 : 621.186

Осват Сзаболч: **Оптимальное распределение расходов пара на источниках теплоэлектростанции Орадя**

Представляется метод расчета, используемый для оптимального распределения нагрузки на котлах ТЭС Орадя и тепловой нагрузки на теплофикационных отборах турбин и графиков, полученных этим методом.

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 57–61

ДК 621.314.64

Данилюк, М. и *Мититюк, В.:* **Изучение постоянных и переменных составных напряжения и тока, выпрямленного при работе в буфере одного выпрямителя на аккумуляционной батареи**

Определяются общие выражения напряжения и тока, выпрямленного при работе в буфере, пределы угла зажигания, способ изменения постоянных и переменных напряжения и выпрямленного тока противоэлектродвижущей силы батареи и пикового напряжения в зависимости от угла зажигания. Эти расчеты связаны с работой (реле, задуманного авторами в целях наблюдения целостности цепи выпрямитель-батарея аккумуляторов при боте в буфере.

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 61–69

ДК 621.315.1.002.2

Гырбача, А.: **Механизация конструкторских работ воздушных электрических линий с помощью вертолета**

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 69–80

ДК 621.315.28.001.5

Гэврилэ, Д.: **Испытание муфт и наконечников муфт электрических силовых кабелей с помощью излучения Рентген**

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 81

Морцун, К.: **Электрифицирование уезда Хунедоара**

Energetica 26 (1978), № 2, стр. 82–85

INHALTSVERZEICHNIS

DK 66.012.001.5

Vasilescu, N.: **Wärmefortpflanzung durch eine poröse luftdurchströmte Wand**

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 45–52

DK 621.181.65

Staicu, C. I.: **Liniarer Druckverlust bei laminarer Strömung**

Es wird die Anwendung des vom Autor entwickelten Verfahrens der allgemeinen Dimensionsanalyse bei der Ableitung der physikalischen Formel zur Bestimmung des liniaren Druckverlustes bei laminarer Strömung gezeigt. Es wurden dabei nur die Variablen angewandt, die das Phänomen beschreiben, sowie die Werte physikalischer Grössen eingesetzt, die im Ergebnis experimenteller Messungen gewonnen wurden.

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 52–54

DK 621.311.18.004

Neaga, C.: **Wirtschaftliche Lastverteilung unter den parallelgeschalteten Dampferzeugern**

Indem man von mathematischen Erwägungen (Bestimmung des Minimums einer Funktion mit mehreren Variablen) ausgeht, wird im Beitrag die Berechnungsmethodik zur wirtschaftlichen Lastverteilung bei parallelgeschalteten Dampferzeugern vorgeführt, welche aber die Betriebscharakteristik jedes einzelnen Dampferzeugers als bekannt voraussetzt.

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 55–56

DK 621.311.22/23 : 621.186

Osváth Szabolcs: **Optimale Verteilung der Dampfmengen unter den Dampferzeugern des Heizkraftwerks Oradea**

Es wird das Berechnungsverfahren zur optimalen Lastverteilung unter den Dampferzeugern des HKW Oradea und die Verteilung der Wärmelast unter den Fernheizentnahmen der Turbinen, sowie die mit Hilfe dieses Verfahrens gewonnenen Kurven gezeigt.

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 57–61

DK 621.314.64

Danilîuc, M. and *Mititiuc, V.:* **Untersuchung der Gleich- und Wechselspannungskomponenten der gleichgerichteten Ströme und Spannungen beim Pufferbetrieb eines Gleichrichters mit einer Akkumulatorenbatterie**

Es werden die allgemeinen Ausdrücke der beim Pufferbetrieb gleichgerichteten Ströme und Spannungen, die Schwankungsgrenzen des Zündwinkels, die Schwankungsweise der Gleich- und Wechselkomponenten der gleichrichteten Ströme und Spannungen, der elektromotorischen Gegenspannung der Batterie und des Spitzenstroms in Abhängigkeit vom Zündwinkel bestimmt. Diese Berechnungen hängen mit der Arbeitsweise eines von den Autoren entwickelten Relais zur Überwachung des beim Pufferbetrieb bestehenden Gleichrichter-Batterie-Stromkreises zusammen.

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 61–69

DK 621.315.1.002.2

Gârbacea, A.: **Mechanisierung der Bauarbeiten bei der Errichtung von Freileitungen mit Hilfe von Hubschraubern**

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 69–80

DK 621.315.28.001.5

Gavrilă, D.: **Prüfung von Starkstrommuffen und Kabelendverschlüssen mit Hilfe von Roentgen-Strahlen**

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 81

Morțun, C. **Elektrifizierung des Kreises Hunedoara**

Energetica 26 (1978), H. 2, S. 82–85

SOMMAIRE

CD 66.012.001.5

Vasilescu, N. : **Conduction thermique par une paroi poreuse traversée d'un courant d'air**

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 45 – 52

CD 621.181.65

Staicu, C. I. : **Perte de pression linéaire à l'écoulement laminaire**

Application de la méthode d'analyse dimensionnelle générale, développée par l'auteur, pour établir la formule physique pour la perte de pression linéaire à l'écoulement laminaire. On utilise seulement les variables qui décrivent le phénomène et les valeurs des grandeurs physiques résultées aux mesurages experimentales.

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 52 – 54

CD 621.311.18.004

Neaga, C. : **La répartition économique de la charge entre les chaudières qui fonctionnent en parallèle**

En commençant par des considérations mathématiques (le minimum d'une fonction à plusieurs variables), on présente la méthode de calcul de la répartition économique de la charge entre les chaudières, méthode qui suppose les caractéristiques de fonctionnement pour chaque chaudière.

Energetica 26 (1978), no. 2, p 55 – 56

CD 621.311.22/23 : 621.186

Osváth Szabolcs : **Répartition optimale des débits de vapeurs sur les sources de la centrale chaleur/force Oradea**

On présente la méthode de calcul pour la répartition optimale de la charge sur les chaudières de la centrale à production combinée chaleur/force Oradea et de la charge thermique sur les prises des turbines, ainsi que les graphiques obtenus à l'aide de cette méthode.

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 57 – 61

CD 621.314.64

Dantiuc, M. et *Mititiuc, V.* : **L'étude des composantes continues et alternatives de la tension et du courant redressé dans le cas du fonctionnement en tampon d'un redresseur avec une batterie d'accumulateurs**

On détermine les expressions générales de la tension et du courant redressé dans le cas du fonctionnement en tampon, les limites de variation de l'angle d'allumage, le mode de variation des composantes continues et alternatives de la tension et du courant redressé, de la tension contre-électromotrice de la batterie et du courant de pointe, en fonction de l'angle d'allumage. Ces calcul sont liés au fonctionnement d'un relais conçu par les auteurs afin de surveiller l'intégrité du circuit redresseur-batterie d'accumulateurs, dans le cas du fonctionnement en tampon.

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 61 – 69

CD 621.315.1.002.2

Gârbacea, A. : **La mécanisation de la construction des lignes électriques aériennes à l'aide de l'hélicoptère**

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 69 – 80

CD 621.315.28.001.5

Gavrilă, D. : **Essais des manchons et des boîtes d'extrémité des câbles à l'aide des radiations Roentgen**

Energetica 26 (1978), p. 81

Morțun, C. : **L'électrification du district de Hunedoara**

Energetica 26 (1978), no. 2, p. 82 – 85

CONTENTS

DC 66.012.001.5

Vasilescu, N. : **Heat conduction through a porous wall crossed by an air current**

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 45 – 52

DC 621.181.65

Staicu, C. I. : **Linear pressure losses at laminar flow**

Application of the general dimensional analysis method developed by the author for establishing the physical formula for linear pressure losses at laminar flow. There have been used only the variables which describe the phenomenon and the physical values which have resulted from experimental measurements.

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 52 – 54

DC 621.311.18.004

Neaga, C. : **Economic distribution of load operating in parallel**

Starting from mathematical considerations (devicing the minimum of a several variables function) the paper presents the calculation methods of the economic load distribution ainong boilers, method which presumes the knowing of the operation characteristics of every boiler.

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 55 – 56

DC 621.311.22/23 : 621.186

Osváth Szabolcs : **Optimal distribution of steam flows on the sources of the combined heat and power plant Oradea**

The calculation method used for the optimal load distribution on the boilers from the combined heat and power generation plant Oradea and for the thermal load on the thermal heating outlets of the turbines, is presented. The graphs obtained by means of this method are also given.

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 57 – 61

DC 621.314.64

Dantiuc, M. and *Mititiuc, V.* : **Study of continuous and alternating components of rectified voltage and current for the bump operation rectifier with an accumulator battery**

The general expressions of the rectified voltage and current for the bumper operation, the ignition angle variation limits, the variation manner of the continuous and alternating components of the rectified voltage and current, of the counter-electromotor voltage of the battery and of the peak current depending on the ignition angle. These calculations are connected to the operation of a relay built by the authors in order to survey the integrity of the rectifier-accumulator batteries circuit, for bumper operation.

Energetica 26 (1978), nr. 2, p 61 – 69

DC 621.315.1.002.2

Gârbacea, A. : **Mechanization of overhead electrical line construction by helicopter**

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 69 – 80

DC 621.315.28.001.5

Gavrilă, D. : **Testing of terminals and sleeves of power cables by Roentgen rays**

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 81

Morțun, C. : **Electrification of Hunedoara County**

Energetica 26 (1978), nr. 2, p. 82 – 85

Conducţia căldurii printr-un perete poros, străbătut de un curent de aer

Ing. **Nelu Vasilescu***)

I. Consideraţii generale

Cu mulţi ani în urmă, studiind oportunitatea amplasării cazanelor de abur în aer liber, din punct de vedere al pierderilor de căldură [1], a fost intuită posibilitatea reducerii pierderilor în mediul ambiant, prin prevederea în jurul cazanului a unui înveliş permeabil şi aspiraţia aerului necesar arderii din spaţiul creat între pereţii cazanului şi acest înveliş. Însuficienţa mijloacelor de calcul şi a posibilităţilor tehnice de realizare a dus la neluarea problemei în consideraţie ca mijloc concret de realizare de economii de căldură.

Ulterior, în cadrul unei acţiuni documentare pentru probleme nucleare, a fost întîlnită în literatura de specialitate [2] o tratare sumară, aproximativă, a unei probleme similare: pierderea de căldură printr-un perete poros, în contracurent cu un flux de aer. În lucrarea menţionată, pentru cazul unui perete alcătuit din n straturi puternic izolante (coeficienţii de schimb superficial de căldură relativ foarte mari), se admite următoarea expresie a fluxului de căldură prin unitatea de suprafaţă:

$$q_c = \frac{t_i - t_e}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \qquad (1)$$

în care t_i şi t_e sînt temperaturile pe cele două feţe ale peretelui, iar δ_i şi λ_i respectiv grosimea şi conductivitatea termică pentru stratul i al peretelui compus. Considerînd că peretele este străbătut de un gaz, cu viteză mică, aşa încît temperatura gazului să fie egală cu temperatura peretelui în orice punct, în cazul circulaţiei în contraflux, gazul va prelua de la perete cantitatea de căldură:

$$q_g = VC_p(t_i - t_e), \qquad (2)$$

în care V este viteza gazului şi C_p căldura sa specifică. Fluxul rezultant de căldură va avea expresia:

$$q_r = q_c - q_g = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} - VC_p \right)(t_i - t_e) \qquad (3)$$

sau, pentru cazul unui singur strat izolant:

$$q_r = \frac{t_i - t_e}{\delta}(\lambda - \delta V C_p) \qquad (4)$$

Se observă uşor că pentru:

$$\lambda = \delta V C_p \qquad (5)$$

conform expresiei (4), pierderile de căldură ar fi nule, ceea ce, din punct de vedere fizic, ar însemna că, la valori convenabile pentru C_p, λ, δ şi V, căldura care se transmite prin conducţie în perete este complet preluată de aerul care străbate peretele în sens contrar.

Problemele energetice în general, ca şi măsurile luate în ţara noastră în ultimii ani [3] pentru economisirea energiei au constituit un serios impuls pentru raţionalizarea consumurilor.

În acest context, pe linia preocupărilor menţionate şi a literaturii citate, autorul a propus spre publicare, în revista „Energetica", un proiect de articol intitulat „Consideraţii privind reducerea pierderilor de căldură în locuinţe", în care se prezenta o schemă de încălzire care, folosind aspiraţia aerului prin pereţi poroşi, ar fi trebuit să permită reducerea consumului de căldură, la limită, la cantitatea de căldură necesară pentru încălzirea aerului necesar ventilării încăperilor (pierderea de căldură nulă prin pereţi şi căldura pentru încălzirea aerului de primenire evacuată cu aerul viciat). Materialul se încheia cu un comentariu al aproximaţiilor făcute şi un îndemn la cercetare pe linia soluţiilor schiţate.

Redacţia revistei „Energetica" pune în discuţie corectitudinea formulelor preluate din literatură, arătînd că, de fapt, reducerea consumului de căldură este numai aproximativ 60% din cel calculat pe baza acestora şi schiţează un calcul analitic pentru cazul considerat.

Aprofundarea în continuare a problemei a permis să se ajungă la formulările matematice privind transferul de căldură printr-un mediu poros străbătut în contracurent de un gaz, aşa cum sînt prezentate în cap. II al acestui articol şi la formulările cu caracter practic, prezentate în cap. III*).

II. Formularea matematică a problemei

1. *Modelul considerat*

Se consideră, aşa cum se arată în figura 1:

— un element de perete poros cu suprafaţa de 1 m²;

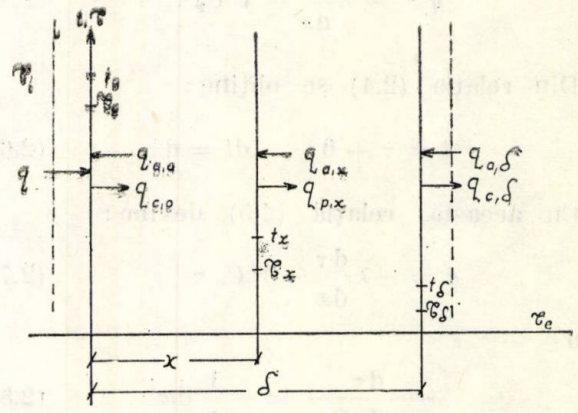


Fig. 1. Schema fluxurilor de căldură şi a temperaturilor în perete.

*) Ing. Nelu Vasilescu este director adjunct tehnic al Institutului de reactori nucleari energetici.

*) Autorul mulţumeşte pe această cale tov.conf. dr. ing. Călin Mihăileanu, care a analizat materialul şi a făcut calculele menţionate, şi de asemenea tov. dr. ing. E. Pavel, cu care a avut discuţii utile pe tema tratării matematice a problemei.

— prin acesta circulă aer cu viteza V, m/s și căldura specifică C_p, kcal/m³.°C;

— fluxurile de căldură q, kcal/m².h.°C, și temperaturile, luînd ca sistem de referință mediul exterior ($t_{a,0} = 0$) sînt indicate în figura 1;

— între temperatura peretelui t în orice punct și temperatura aerului τ în același punct, există o diferență de temperatură, admisă constantă, $\theta = t - \tau \geqslant 0$;

— fluxul rezultant de căldură de la interior la exterior este constant în regim staționar și are valoarea:

$$q = q_{c,0} - q_{a,0} = q_{c,x} - q_{a,x} = q_{c,\delta} - q_{a,\delta} \quad (1.1)$$

2. *Relații pe planul* x:

— fluxul prin planul x

$$q = q_{c,x} - q_{a,x} \quad (2.1)$$

— valoarea fluxurilor

$$q_{c,x} = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (2.2)$$

$$q_{a,x} = V C_p \tau_x \quad (2.3)$$

— diferența temperaturilor

$$t - \tau = \theta \quad (2.4)$$

S-au obținut 4 ecuațiicu 4 necunoscute (2 pentru fluxuri și 2 pentru temperaturi)

Folosind relațiile (2.2) și (2.3), ecuația (2.1) se scrie:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} - V C_p \tau_x \quad (2.5)$$

Din relația (2.4) se obține:

$$t = \tau + \theta; \qquad dt = d\tau \quad (2.6)$$

Cu aceasta, relația (2.5) devine:

$$q = -\lambda \frac{d\tau}{dx} - V C_p \tau \quad (2.7)$$

sau

$$\frac{d\tau}{q + V C_p \tau} = -\frac{1}{\lambda} dx \quad (2.8)$$

Prin integrare se obține:

$$L(q + V C_p \tau) = -\frac{V C_p}{\lambda} x + k \quad (2.9)$$

sau

$$L(q + a \lambda \tau) = -ax + k, \quad (2.10)$$

în care:

$$a = \frac{V C_p}{\lambda}; \qquad V C_p = a\lambda \quad (2.11)$$

Mărimea $a\delta$ reprezintă un parametru sintetic al modelului considerat.

3. *Considerații privind determinarea constantei* k

3.1. La limita din stînga ($x = 0$; $\tau = \tau_0$), ecuația (2.10) dă:

$$L(q + a \lambda \tau_0) = k \quad (3.1)$$

cu care ecuația (2.10) devine:

$$L \frac{q + a \lambda \tau}{q + a \lambda \tau_0} = -ax \quad (3.2)$$

Din aceasta se poate scoate valoarea:

$$\tau = \tau_0 e^{-ax} - \frac{q}{a\lambda}(1 - e^{-ax}) \quad (3.3)$$

Pentru $x = 0$, se obține $\tau = \tau_0$, iar pentru $x = \delta$:

$$\tau_\delta = \tau_0 e^{-a\delta} - \frac{q}{a\lambda}(1 - e^{-a\delta}) \quad (3.4)$$

3.2. La limita din dreapta ($x = \delta$; $\tau = \tau_\delta$), ecuația (2.10) dă, în mod succesiv:

$$k = L(q + a\lambda\tau_\delta) + a_\delta \quad (3.5)$$

$$L \frac{q + a \lambda \tau}{q + a \lambda \tau_\delta} = -a(x - \delta) \quad (3.6)$$

Din aceasta se scoate:

$$\tau = \tau_\delta e^{-a(x-\delta)} - \frac{q}{a\lambda}(1 - e^{-a(x-\delta)}) \quad (3.7)$$

Pentru $x = \delta$, se obține $\tau = \tau_\delta$, iar pentru $x = 0$, se obține:

$$\tau_0 = \tau_\delta e^{a\delta} - \frac{q}{a\lambda}(1 - e^{a\delta}) \quad (3.8)$$

3.3. Sînt identice ecuațiile (3.3) și (3.7)?

Se ia ecuația (3.2) și se scrie, pentru $x = \delta$:

$$L \frac{q + a \lambda \tau_\delta}{q + a \lambda \tau_0} = -a\delta \quad (3.9)$$

din ea se scoate:

$$\tau_\delta = \tau_0 e^{-a\delta} - \frac{q}{a\lambda}(1 - e^{-a\delta}), \quad (3.10)$$

adică se regăsește relația (3.4); introducînd această valoare în (3.7), se obține:

$$\tau = \tau_0 e^{-ax} - \frac{q}{a\lambda}(1 + e^{-ax}), \quad (3.11)$$

adică se regăsește ecuația (3.3), care dă variația temperaturii aerului și implicit a peretelui, în funcție de x.

4. *Valoarea lui q*

Dacă se presupun cunoscute temperaturile la limită τ_0 și τ_δ, din (3.9), se obține:

$$q = -a\lambda \frac{\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}}. \quad (4.1)$$

Ca verificare, pentru cazul că $\theta = 0$, respectiv $\tau_\delta = t_\delta$ și $\tau_0 = t_0$, se obține:

$$q_{t_0} = -a\lambda \frac{t_\delta - t_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} \quad (4.2)$$

Dacă se admite că peretele nu este poros ($V = 0 \rightarrow a = 0$), se obține:

$$\lim_{a\to 0} q_{t_0} = \frac{-\lambda(t_\delta - t_0 e^{-a\delta}) - a\lambda\delta t_0 e^{-a\delta}}{\delta e^{-a\delta}} = \frac{\lambda}{\delta}(t_0 - t_\delta) \quad (4.3)$$

adică se regăsește formula clasică a conducției.

În mod analog, ca mai sus, din relația (3.2) se poate scoate valoarea q, în funcție de temperatura τ într-un punct oarecare:

$$q = -a\lambda \frac{\tau - \tau_0 e^{-ax}}{1 - e^{-ax}} \quad (4.4)$$

5. *O altă expresie a temperaturii*

Se elimină q între relațiile (4.1) și (4.4):

$$\frac{\tau - \tau_0 e^{-ax}}{1 - e^{-ax}} = \frac{\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} \quad (5.1)$$

Prin calcule curente se obține:

$$\tau = \frac{1}{1 - e^{-a\delta}}[\tau_0(e^{-ax} - e^{-a\delta}) + \tau_\delta(1 - e^{-ax})] \quad (5.2)$$

Se observă ușor că pentru:

$$x = 0 \rightarrow \tau = \tau_0 \quad (5.3)$$

$$x = \delta \rightarrow \tau = \tau_\delta \quad (5.4)$$

6. *Condiția pentru* $q = 0$

Problema dacă se poate găsi un set de valori pentru care pierderile de căldură q sînt nule, se poate rezolva studiind ecuația (4.1).

Se poate admite că pentru valori uzuale diferite de zero pentru V, C_p și λ, respectiv a, ca și pentru δ, numitorul din ecuația (4.4) răspunde relației:

$$0 < 1 - e^{-a\delta} < 1 \quad (6.1)$$

Ca o consecință, pentru a avea $q = 0$, este necesar și suficient să avem:

$$\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta} = 0 \quad (6.2)$$

sau

$$\tau_\delta = \tau_0 e^{-a\delta} \quad (6.3)$$

Aceasta înseamnă că, dată fiind temperatura t_0, respectiv τ_0, există, pentru fiecare valoare a_δ, o temperatură τ_δ a aerului care pătrunde în perete, pentru care $q = 0$.

Problema se poate pune și în sensul că, dată fiind o temperatură τ_δ cu care aerul intră în perete, să se determine unul dintre cei patru parametri V, C_p, λ sau δ, ceilalți trei fiind dați. Spre exemplu, pentru un set de mărimi V, C_p, λ, respectiv a, se obține, din relația (6.3):

$$a\delta = L\frac{\tau_0}{\tau_\delta} \quad (6.4)$$

sau

$$\delta = \frac{1}{a} L \frac{\tau_0}{\tau_\delta} \quad (6.5)$$

Pentru cazul $\theta = 0$, respectiv $\tau_0 = t_0$ și $\tau_\delta = t_\delta$, relațiile (6.3) și (6.5) devin:

$$t_\delta = t_0 e^{-a\delta}$$

respectiv

$$\delta = \frac{1}{a} L \frac{t_0}{t_\delta} \quad (6.6)$$

Pentru a stabili semnificația fizică a relației (6.3), se consideră ultima parte a relației (1.1), respectiv:

$$q = q_{c,\delta} - q_{a,\delta}, \quad (6.7)$$

care pentru $q = 0$, dă:

$$q_{c,\delta} = q_{a,\delta}, \quad (6.8)$$

respectiv arată că se poate obține $q = 0$ dacă, odată cu aerul introdus, se aduce în perete tot atîta căldură cîtă este evacuată în mediu, prin conducție, la fața exterioară a peretelui, care are temperatura τ_δ.

7. *Bilanțul pe întregul perete*

Se consideră două plane, paralele cu peretele — unul la interior, i, și altul la exterior, e, pe care temperaturile aerului sînt τ_i, respectiv $\tau_e = 0$ (τ_e luat ca temperatură de referință).

Pentru a menține aceste temperaturi constante, este necesar ca la nivelul planului i să se introducă o cantitate de căldură :

$$q_{c,i} = q + V C_p(\tau_i - \tau_e) = q + V C_p \tau_i, \quad (7.1)$$

care reprezintă, de fapt, consumul de căldură pentru încălzirea spațiului cu temperatura τ_i, inclusiv a aerului necesar, care pătrunde cu viteza V, de la temperatura τ_e la τ_i.

Dacă se admite că spațiul dintre planul i și fața peretelui este suficient de mic, cantitatea de căldură primită de perete de la aerul cu temperatura τ_i va fi :

$$q_{c,0} + \alpha_i(\tau_i - t_0), \quad (7.2)$$

iar :

$$q = q_{c,0} - q_{a,0} = \alpha_i(\tau_i - \tau_0) - V C_p \tau_0 \quad (7.3)$$

Un raționament analog pentru planul e arată că:

$$q_{e,\delta} = \alpha_e(t_\delta - \tau_e) = \alpha_e t_\delta \quad (7.4)$$

Din această căldură, o parte este aspirată în perete cu curentul de aer :

$$q_{a,\delta} = VC_p(\tau_\delta - \tau_e) = VC_p \tau_\delta, \quad (7.5)$$

iar altă parte se pierde în mediu :

$$q = \alpha_e(t_\delta - \tau_e) - VC_p(\tau_\delta - \tau_e) = \alpha_e t_\delta - VC_p \tau_\delta \quad (7.6)$$

În aprecierea fenomenelor care au loc la nivelul planelor e și i se poate face și ipoteza că, în condiții date de distanțe, viteze, natură a fețelor peretelui, mod de producere a căldurii în interior etc., transmisia căldurii de la interior la perete se face cu un coeficient $\alpha_{ir} = \xi_i \alpha_i$, iar de la perete la exterior, cu un coeficient $\alpha_{er} = \xi_e \alpha_e$; $(0 < \xi < 1)$.

Cu acestea, ținînd seama de notațiile din figura 2, se poate scrie :

$$q = q_{c,i} - q_{a,i} = q_{c,0} - q_{a,0} = q_{c,\delta} - q_{a,\delta} \quad (7.7)$$

$$q_{a,i} = VC_p \tau_i;\ q_{a,0} = VC_p\tau_0;\ q_{a,\delta} = VC_p \tau_\delta \quad (7.8)$$

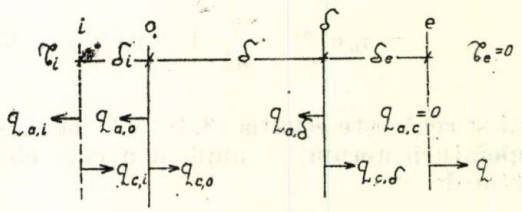


Fig. 2. Schema fluxurilor de căldură și a temperaturilor pe ansamblul peretelui.

$$q_{c,0} = \xi_i \alpha_i(\tau_i - t_0) = \alpha_{ir}(\tau_i - t_0) \quad (7.9)$$

$$q_{c,\delta} = \xi_e \alpha_e(t_\delta - \tau_e) = \alpha_{er} t_\delta \quad (7.10)$$

De asemenea, pe baza relației (4.1), se poate scrie :

$$q = q_{c,0} - q_{a,0} = -a\lambda \frac{\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} \quad (7.11)$$

Sistematizînd și grupînd, pentru peretele propriu-zis, se obține :

$$\frac{q}{\alpha_{ir}} = \tau_i - t_0 - \frac{V C_p \tau_0}{\alpha_{ir}} \quad (7.12)$$

$$\frac{q_\delta}{\lambda} = -a_\delta \frac{\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} \quad (7.13)$$

$$\frac{q}{\alpha_{er}} = t_\delta - \tau_e - \frac{V C_p \tau_\delta}{\alpha_{er}} \quad (7.14)$$

Prin însumarea acestor trei relații se obține :

$$q\left(\frac{1}{\alpha_{ir}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{er}}\right) = \tau_i - \tau_e - t_0 - VC_p\left(\frac{\tau_0}{\alpha_{ir}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\delta}{\lambda} \frac{\tau_\delta - \tau_0 e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} + \frac{\tau_\delta}{\alpha_{er}}\right) + t_\delta \quad (7.15)$$

Simplificat, relația (7.15) se scrie ca și relația clasică cunoscută :

$$q_r = K_r \Delta\tau_r, \quad (7.16)$$

în care

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{\alpha_{ir}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{er}} \quad (7.17)$$

$$\Delta\tau_r = \tau_i - \tau_e - \Delta\tau_c = \Delta\tau - \Delta\tau_c \qquad (7.18)$$

$$\Delta\tau_c = t_0 + VC_p\left(\frac{\tau_0}{\alpha_{ir}} + \frac{\delta}{\lambda}\,\frac{\tau_\delta - \tau_0\,e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} + \frac{\tau_\delta}{\alpha_{er}}\right) - t_\delta \qquad (7.19)$$

Pentru a compara valoarea q_r dată de relaţia (7.16) cu valoarea :

$$q_n = K\Delta\tau, \qquad (7.20)$$

în care

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}, \qquad (7.21)$$

se observă că :

— întrucît $\alpha_{ir} < \alpha_i$ şi $\alpha_{er} < \alpha_e$, este evidentă relaţia :

$$K_r < K \qquad (7.22)$$

— pentru un set de valori uzuale, pozitive ale mărimilor a şi δ, conform anexei 1*), avem

$$\Delta\tau_r < \Delta\tau \qquad (7.23)$$

Ca o consecinţă, este evident că :

$$q_r < q_n \qquad (7.24)$$

Verificare :

Se ia $V = 0 \rightarrow \xi_i = \xi_e = 1 \rightarrow \alpha_{ir} = \alpha_i\,;\ \alpha_{er} = \alpha_e$

Formula (7.15) devine

$$q = K\,\Delta\,\tau, \qquad (7.25)$$

întrucît

$K_r = K$ şi, conform relaţiei (4.3),

$$VC_p = -\frac{\lambda}{\delta}(t_0 - t), \text{ ceea ce dă :}$$

$$\Delta\tau_c = t_0 - t_\delta - VC_p\left(\frac{\tau_0}{\alpha_i} + \frac{\tau_\delta}{\alpha_e}\right) - t_0 - t_\delta = 0 \qquad (7.26)$$

8. *Condiţia* q = 0 *pentru ansamblul peretelui*

Se calculează valoarea lui q, în funcţie de elemente cunoscute; din relaţia (7.12) se scoate :

$$\tau_0 = \frac{\alpha_{ir}(\tau_i - \theta) - q}{VC_p + \alpha_{ir}} \qquad (8.1)$$

*) Redacţia a considerat ca nefiind necesară publicarea anexelor în care sînt date calcule matematice detaliate. Autorul poate pune la dispoziţia celor interesaţi aceste anexe.

Analog, din (7.14) se scoate :

$$\tau_\delta = \frac{\alpha_{er}\,\theta - q}{VC_p - \alpha_{er}} \qquad (8.2)$$

Cu acestea, din relaţia (7.13) se obţine :

$$q = -VC_p\,\frac{\dfrac{\alpha_{er}\theta - q}{VC_p - \alpha_{er}} - \dfrac{\alpha_{ir}(\tau_i - \theta) - q}{VC_p + \alpha_{ir}}\,e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}} \qquad (8.3)$$

Prin transformări succesive (vezi anexa 2) se obţine :

$$q = -VC_p\,\frac{(VC_p - \alpha_{er})(\tau_i - \theta)\,\alpha_{ir}e^{-a\delta} - (VC + \alpha_{ir})\alpha_{er}\theta}{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\,e^{-a\delta} + (VC_p + \alpha_{ir})\alpha_{er}} \qquad (8.4)$$

Pentru verificare, se calculează q cu ajutorul formulei (8.4), în condiţiile transmisiei căldurii prin conducţie, fără circulaţie de aer ($V = 0\,;\ \theta = 0\,;\ \tau_i = t\,;\ \alpha_{ir} = \alpha_i\,;\ \alpha_{er} = \alpha_e\,;\ e^{-a\delta} = 1$), şi se constată că se obţine formula clasică cunoscută (vezi anexa 1) :

$$q = \frac{t_i}{\dfrac{1}{\alpha_i} + \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_e}} \qquad (8.5)$$

Admiţînd numitorul fracţiei şi VC_p diferite de zero, condiţia $q = 0$ dă :

$$(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\,e^{-a\delta}(\tau_i - \theta) - (VC_p + \alpha_{ir})\,\alpha_{er} = 0 \qquad (8.6)$$

Se observă că, pentru $\theta = 0$, se obţine :

$$(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\,e^{-a\delta} = 0, \qquad (8.7)$$

care dă :

$$VC_p - \alpha_{er} = 0 \rightarrow VC_p = \alpha_{er} \qquad (8.8)$$

$$e^{-a\delta} = 0 \rightarrow \delta = \infty \qquad (8.9)$$

Analizînd rezultatele obţinute, se constată următoarele :

— Formula (8.8) se obţine şi direct din relaţia (8.2), pentru $\theta = 0$ şi $q = 0$. Dacă se înmulţesc ambii membri ai relaţiei (8.1) cu $t_\delta = \tau_\delta$, se obţine :

$$VC_p\,t_\delta = \alpha_{er}\,t_\delta \qquad (8.10)$$

care, ţinînd seama că am luat $\tau_e = 0$ (t_δ este deci diferenţa de temperatură între faţa exterioară a peretelui şi aerul exterior), exprimă condiţia ca aerul aspirat să transporte spre interior căldura pierdută către exterior prin suprafaţa peretelui.

Pornind de la logica deducției anterioare pe baza formulei (8.10) este de așteptat ca ecuația (8.4) să se verifice și cu soluția

$$\tau_\delta = \frac{\alpha_{er}\,\theta}{VC_p - \alpha_{er}} \tag{8.11}$$

obținută din ecuația (8.2), pentru $q = 0$. Cu aceasta, din relația (3.8), pentru $q = 0$, se obține :

$$\tau_0 = \frac{\alpha_{er}\,\theta}{VC_p - \alpha_{er}}\, e^{a\delta} \tag{8.12}$$

cu care, din ecuația (8.1), pentru $q = 0$, se obține

$$\tau_i - \theta = \frac{VC_p + \alpha_{ir}}{\alpha_{ir}} \cdot \frac{\alpha_{er}\,\theta}{VC_p - \alpha_{er}}\, e^{a\delta} \tag{8.13}$$

Se observă cu ușurință că aceasta verifică ecuația (8.4), confirmînd ipoteza făcută.

Relația (8.9) exprimă adevărul că un perete cu grosimea ∞ are pierderi de căldură nule. După cum se observă din relația (8.6), condiția $\delta = \infty$ și $q = 0$ conduce la $\theta = 0$.

Se mai poate pune și problema dacă nu există o valoare θ pentru care $q = 0$; anulînd numărătorul din prima relație (8.6), se obține :

$$\theta = \frac{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\,\tau_i\, e^{-a\delta}}{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\, e^{-a\delta} + (VC_p + \alpha_{ir})\,\alpha_{er}} \tag{8.14}$$

Se observă că această relație este identică cu (8.13), deoarece, introducînd în ea valoarea lui τ_i din (8.13), se obține :

$$\theta = \frac{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\left(\theta + \dfrac{VC_p + \alpha_{ir}}{\alpha_{ir}} \cdot \dfrac{\alpha_{er}\theta}{VC_p - \alpha_{er}}\, e^{a\delta}\right) e^{-a\delta}}{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\, e^{-a\delta} + (VC_p + \alpha_{ir})\,\alpha_{er}} =$$

$$= \theta\, \frac{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\, e^{-a\delta} + (VC_p + \alpha_{ir})\,\alpha_{er}}{(VC_p - \alpha_{er})\,\alpha_{ir}\, e^{-a\delta} + (VC_p + \alpha_{ir})\,\alpha_{er}} = \theta \tag{8.15}$$

III. Concluzii pe marginea fenomenului studiat

1. *Schema termică adoptată*

Ca o primă aplicație practică a fenomenului studiat, se consideră cazul unei încăperi, indiferent utilizarea ei ca locuință sau în scopuri industriale (laborator, cuptor, focar), în care trebuie ținută o temperatură constantă mai mare decît cea a mediului ambiant, trebuie introdusă o cantitate de aer la temperatura mediului și evacuată aceeași cantitate de aer sau echivalentul ei sub altă formă (spre exemplu gaze arse), la o temperatură superioară celei ambiante.

Pentru simplificarea și fixarea ideilor, în cele ce urmează se consideră cazul relativ simplu al unei încăperi de locuit, cu un singur perete exterior, ca în figura 3.

Se consideră că notațiile din figură sînt suficiente pentru înțelegerea schemei adoptate.

Se constată că, pentru a asigura menținerea unei temperaturi interioare $\tau_i > \tau_e$ și circulația unui debit de aer $V\Omega$, se consumă cantitatea de căldură :

$$Q = q_p\,\Omega = (q + q_e)\,\Omega = [q + VC_p\,(\tau_i - \tau_e)]\,\Omega \tag{1.1}$$

sau, pentru 1 m² de suprafață a peretelui exterior :

$$q_p = q + VC_p\,(\tau_i - \tau_e) \tag{1.2}$$

Conform notațiilor anterioare, q este rezultanta a două componente :

$$q = q_c - q_a\,, \tag{1.3}$$

q_c fiind cantitatea de căldură transferată prin convecție, iar q_a cantitatea de căldură recuperată de aerul cu temperatura τ_e la trecere prin perete.

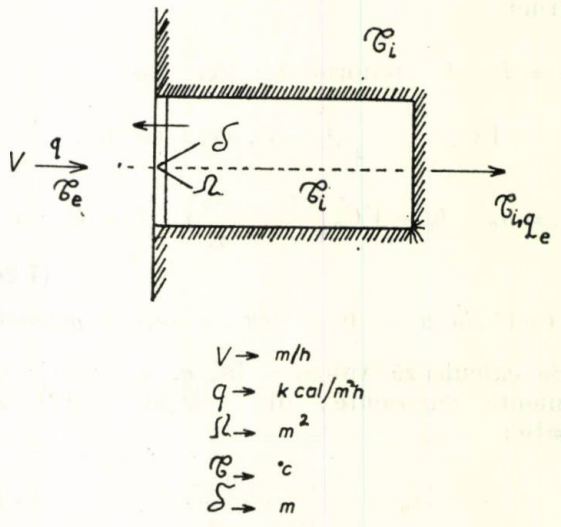


Fig. 3. Schema termică adoptată :

Ω — suprafața peretelui (sau pereților) exterior; V — viteza aerului prin acest perete; q — fluxul de căldură prin peretele exterior; τ_i — temperatura interioară (în cameră și în camerele învecinate); q — fluxul de căldură pierdută în exterior prin perete; q_e — fluxul de căldură evacuată cu aerul cald; $q_p = q + q_e$ — fluxul total de căldură pierdută; δ — grosimea peretelui.

2. *Cazul* q = 0, *din relaţia (8.9) — cap. II*

Conform relaţiei menţionate, pentru a avea $q = 0$, grosimea δ a peretelui exterior, considerat poros, trebuie să fie infinită.

Ca o consecinţă, aerul va intra în perete la infinit şi îl va parcurge cu viteza V, pînă la intrarea în cameră, temperatura lui crescînd progresiv de la τ_e la τ_i.

Mărimile V şi λ, atîta timp cît $\lambda \neq 0$, nu influenţează grosimea peretelui, dar determină alura curbei de variaţie a temperaturii peretelui şi a aerului, pe parcursul său de la infinit pînă la intrarea în cameră.

3. *Cazul* q = 0, *din relaţia (8.8.) — cap. II*

În acest caz, grosimea δ a peretelui nu mai joacă nici un rol, condiţia fiind, de fapt, numai de bilanţ termic (aerul intrat prin perete să aducă în încăpere o cantitate de căldură q egală cu căldura pierdută la faţa peretelui).

Dacă se consideră grosimea peretelui nulă sau conductivitatea lui termică infinit de mare, atunci temperatura la faţa exterioară a peretelui va fi τ_i şi, conform notaţiilor din figura 4, se poate scrie :

$$q_{c,x} = -\lambda \frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}x} \tag{3.1}$$

$$q_{c,x+dx} = -\lambda \frac{d}{\mathrm{d}x}\left(\tau + \frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}x}\mathrm{d}x\right) = -\lambda \frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}x} - \lambda \frac{\mathrm{d}^2\tau}{\mathrm{d}x^2}\mathrm{d}x \tag{3.2}$$

$$\mathrm{d}q_{c,x} = q_{c,x} - q_{c,x+dx} = \lambda \frac{\mathrm{d}^2\tau}{\mathrm{d}x^2}\mathrm{d}x = VC_p\,\mathrm{d}\tau \tag{3.3}$$

$C_p \rightarrow$ k cal/m³C
$\tau \rightarrow$ °C
$q \rightarrow$ k cal/m²h
$\lambda \rightarrow$ k cal/mhC

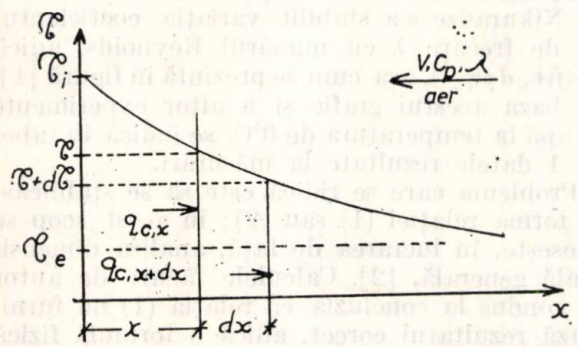


Fig. 4. Schema de calcul pentru conducţia căldurii într-un curent de aer cu viteza V :
C_p — căldură specifică ; τ — temperaturi ; q — fluxuri de căldură.

Se notează ca mai înainte :

$$a = \frac{VC_p}{\lambda} \tag{3.4}$$

şi se obţine ecuaţia diferenţială :

$$\frac{\mathrm{d}^2\tau}{\mathrm{d}x^2} - a\frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}x} = 0, \tag{3.5}$$

care are o soluţie de forma :

$$\tau = C_1 e^{-ax} + C_2 \tag{3.6}$$

Se consideră că, la o distanţă oarecare de perete $x = \delta$, temperatura aerului va fi τ_δ şi se scriu următoarele condiţii-limită :

$$x = 0\,;\ \tau = \tau_i \rightarrow \tau_i = C_1 + C_2 \tag{3.7}$$

$$x = \delta\,;\ \tau = \tau_\delta \rightarrow \tau_\delta = C_1 e^{-a\delta} + C_2 \tag{3.8}$$

Prin rezolvare se obţine :

$$C_1 = \frac{\tau_i - \tau_\delta}{1 - e^{-a\delta}}\,;\quad C_2 = \frac{\tau_\delta - \tau_i e^{-a\delta}}{1 - e^{-a\delta}}, \tag{3.9}$$

cu care funcţia care descrie variaţia temperaturii se scrie :

$$\tau = \frac{1}{1 - e^{-a\delta}}\left[\tau_i(e^{-ax} - e^{-a\delta}) + \tau_\delta(1 - e^{-ax})\right] \tag{3.10}$$

Se constată că se regăseşte ecuaţia (5.2) din cap. II. Condiţia $\tau_\delta = \tau_e$ implică :

$$\lim_{x\to\delta}\left(\frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}x}\right) = 0 \tag{3.11}$$

sau

$$e^{-a\delta}(\tau_i - \tau_e) = 0 \tag{3.12}$$

Această relaţie, cu condiţia $1 - e^{-a\delta} \neq 0$, respectiv $a \neq 0$ şi $\delta \neq 0$, are două soluţii :

$$e^{-a\delta} = 0 \rightarrow \delta = \infty \tag{3.13}$$

$$\tau_i - \tau_e = 0 \rightarrow \tau_i = \tau_e \tag{3.14}$$

Prima condiţie este identică cu condiţia de la punctul 2 de mai sus, iar cea de-a două exprimă adevărul că, în cazul unei diferenţe nule de temperatură, nu au loc pierderi de căldură.

Cu $\delta = \infty$, formula (3.10) devine :

$$\tau = \tau_i e^{-ax} + \tau_\delta(1 - e^{-ax}) \tag{3.15}$$

4. *Convergența cazurilor 2 și 3. Concluzii*

În concluzie, cazurile 2 și 3 sînt în esență identice, ele exprimînd adevărul că o cameră cu un perete poros prin care circulă aer, indiferent de natura, grosimea și, implicit, existența lui materială, prezintă pierderi de căldură nule, dacă peretele se întinde pînă la infinit. Altfel spus, o cameră de genul celei din figura 1 prezintă pierderi de căldură nule dacă se asigură un tub de aer cu viteza V considerată vectorial pînă la infinit, unde avem temperatura τ_e.

Realizarea integrală în practică a unei asemenea situații este imposibilă, dar se pot imagina soluții care, fără să asigure $q = 0$, să aducă economii importante de căldură.

Concepția unor asemenea soluții nu face obiectul lucrării de față, iar traducerea lor în fapt comportă cercetări pentru aducerea lor într-un stadiu tehnico-economic acceptabil.

Bibliografie

[1] Vasilescu, N. *Dispoziția economică a echipamentului în centralele termoelectrice.* Sesiunea de comunicări tehnico-științifice ISPE, 1950–1960.

[2] Schlack, A. *Dte Industrielle Wärmeübertragung.*

[3] * * * Consiliul de Stat al R.S.R. — *Decretul nr. 620/1973.*

[4] * * * *Manualul inginerului termotehnician.* Editura tehnică, București, 1961.

[5] Rietchel, H. *Tehnica încălzirii și ventilării.* Editura tehnică, București, 1967.

[6] * * * *Rocwool Isolerhandbok* — Skövde, Suedia.

[7] Sorin, S. N. *Teploperedaciia.* Leningrad, 1952.

[8] Vasilescu, N. *Transmisia căldurii prin doi pereți plani paraleli printre care circulă un fluid.* În : Energetica, 24, nr. 5, 1976.

(Articol intrat în redacție la 31 octombrie 1977)

Pierderea de presiune liniară la curgerea laminară

Dr. ing. **C. I. Staicu***)

Cunoașterea științifică a realității fizice, a diverselor sisteme care o compun, implică descrierea lor cu ajutorul mărimillor fizice și stabilirea legăturilor dintre mărimi. Se știe că cea mai satisfăcătoare cale de stabilire a relațiilor fizice este metoda teoretică, pe baza ecuațiilor algebrice sau diferențiale; această cale nu se poate însă finaliza totdeauna. Pentru cunoașterea fenomenelor fizice s-a dezvoltat cercetarea experimentală; în cadrul acestei metode, autorul a preconizat analiza dimensională generală, care poate să conducă la relații similare cu cele teoretice.

Lucrarea de față are un scop metodologic : cu analiza dimensională generală se stabilește formula fizică pentru pierderea de presiune liniară la curgerea laminară. Este un caz interesant de folosire a analizei dimensionale generale, deoarece pentru descrierea fenomenului se poate admite densitatea sau greutatea specifică a fluidului. În plus, valoarea factorului numeric adimensional se obține numai după calcule suplimentare, care nu sînt de obicei necesare la aplicarea metodei de analiză dimensională generală.

Fenomenul fizic

În scopul stabilirii formulei fizice a unui fenomen dat, metoda de analiză dimensională generală trebuie să dispună de mărimile fizice care descriu sistemul și valorile lor.

Se examinează curgerea permanentă cu viteza v a unui lichid într-un spațiu limitat, închis. Lichidul are densitatea ρ și viscozitatea dinamică η. Pentru concretizare, se consideră curgerea printr-o conductă cu diametrul d. Între două secțiuni ale curentului de fluid distanțate cu l, se produce pierderea de presiune Δp. Sistemul fizic descris este realizat într-un loc de pe pămînt unde g este accelerația căderii libere. Relația dintre mărimile fizice enumerate se scrie, cel mai general, sub forma :

$$f(v, \rho, \eta, d, l, \Delta p, g) = 0. \qquad (1)$$

Pentru descrierea acestui fenomen fizic se poate lua în considerare, în locul densității ρ, greutatea specifică γ, adică :

$$f(v, \gamma, \eta, d, l, \Delta p, g) = 0; \qquad (2)$$

cele două mărimi sînt corelate prin relația $\gamma = g\rho$.

Pe baza cercetărilor experimentale efectuate de Nikuradze s-a stabilit variația coeficientului de frecare λ cu numărul Reynolds, adică $\lambda = f(v, d\rho\eta^{-1})$, așa cum se prezintă în figură [1]. Pe baza acestui grafic și a altor experimente cu apă la temperatura de 0°C, se indică în tabelul 1 datele rezultate la măsurări.

Problema care se ridică este să se stabilească forma relației (1) sau (2); în acest scop se folosește, în lucrarea de față, analiza dimensională generală, [2]. Calculele făcute de autor au condus la concluzia că relația (1) nu furnizează rezultatul corect, adică o formulă fizică pe baza căreia să se poată calcula valorile măsurate. Rezultatul corect se poate obține numai din relația (2).

*) Dr. ing. Constantin I. Staicu este cercetător științific principal la ICEMENERG.

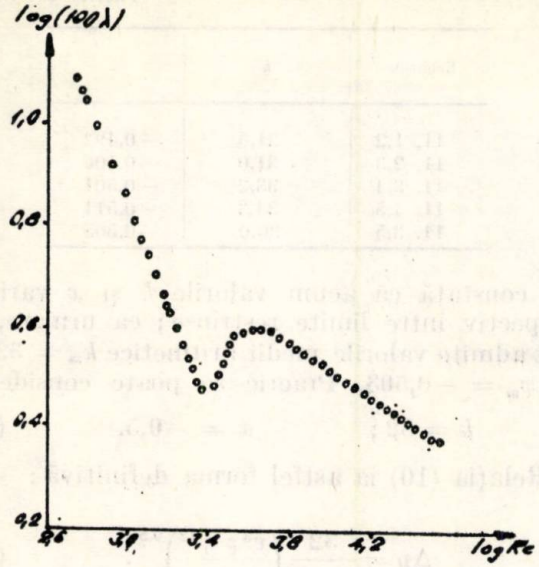


Fig. 1. Diagrama Nikuradze.

Tabelul 1

$\rho = 102$ kgf.s^2/m^4
$\eta = 182{,}5\ 10^{-6}$ kgf.s/m^2

v, m/s	d, m	l, m	Δp, kgf/m^2
0,0219	0,05	15	0,806
0,0237	0,06	24	0,954
0,0268	0,07	30	0,990
0,0338	0,08	40	1,276
0,0385	0,09	50	1,440

Formula matematică

Pe baza lucrării [2] se ia în considerare sensul în care se schimbă variabila dependentă Δp în funcţie de toate variabilele independente şi se scrie relaţia (2) sub forma:

$$\left(\frac{\Delta p}{l}\right)^a d^b g^c = v^e \gamma^f \eta^h ; \qquad (3)$$

s-a inclus în (3) şi faptul că pierderea de presiune Δp variază liniar cu lungimea conductei l. De asemenea, în conformitate cu metoda de analiză dimensională generală, în afară de distribuţia prealabilă a variabilelor între cei doi membri ai relaţiei (3), s-au afectat exponenţi de mărime necunoscuţi la toate variabilele; în procedeul clasic din analiza dimensională restrînsă, se explicitează o mărime, cu exponent unitar.

Se ia în considerare sistemul de unităţi de măsură bazat pe trei mărimi fundamentale: lungimea, masa, timpul. Ecuaţiile dimensionale corespunzătoare mărimilor fizice din (3) sînt următoarele:

$$\begin{aligned} [\Delta p] &= L^{-1} M T^{-2} & [v] &= L T^{-1} \\ [d,l] &= L & [\gamma] &= L^{-2} M T^{-2} \\ [g] &= L T^{-2} & [\eta] &= L^{-1} M T^{-1}. \end{aligned} \qquad (4)$$

În relaţia (3) se introduc ecuaţiile (4). Condiţia omogenităţii dimensionale — care trebuie să fie respectată de toate relaţiile raţionale — cere ca dimensiunile mărimilor fundamentale să fie respectiv aceleaşi în ambii termeni din (3). Această condiţie se exprimă prin 3 ecuaţii liniare, omogene, cu 6 necunoscute:

$$\begin{aligned} -2a + b + c &= e - 2f - h \quad (L) \\ a &= f + h \quad (M) \\ -2a - 2c &= -e - 2f - h. \quad (T) \end{aligned} \qquad (5)$$

Acest sistem de ecuaţii este nedeterminat, dar de tip diofantic. În conformitate cu cele demonstrate în [2], se rezolvă sistemul de ecuaţii (5) în baza teoremei valorilor pozitive, întregi, minime. Din algebră se ştie că, în acest caz, ecuaţiile se rezolvă separat, în ordinea creşterii numărului de termeni, iar la rezolvarea oricărei ecuaţii se folosesc soluţiile ecuaţiilor rezolvate anterior, [3]. Pentru sistemul de ecuaţii (5) rezultă soluţia unică:

$$\begin{aligned} a &= 2 & f &= h = 1 \\ c &= 1 & e &= 3 \\ b &= 3 \end{aligned} \qquad (6)$$

Prin introducerea în (3) a soluţiilor (6) se obţine relaţia matematică

$$\Delta p = \left(\frac{(v^3 \rho \eta l^2}{d^3}\right)^{0,5}, \qquad (7)$$

în care s-a introdus ρ pe baza relaţiei cunoscute $\gamma = g\rho$.

Formula fizică

Cu valorile din tabelul 1 se calculează valoarea termenului al doilea din formula (7). Se calculează apoi raportul format cu valorile Δp din tabelul 1 şi valorile corespunzătoare ale termenului al doilea. Valoarea acestui raport reprezintă factorul numeric de proporţionalitate K, adimensional, care intervine uneori cînd se transformă o relaţie matematică într-o relaţie fizică, adică:

$$\Delta p = K \left(\frac{(v^3 \rho \eta l^2}{d^3}\right)^{0,5} ; \qquad (8)$$

în cazul de faţă K este diferit de unitate. În tabelul 2 se prezintă rezultatele calculelor.

Tabelul 2

$\left(\frac{v^3 \rho \eta l^2}{d^3}\right)^{0,5}$	Δp	K
0,594	0,806	1,360
0,803	0,954	1,186
0,970	0,990	1,021
1,500	1,276	0,850
1,916	1,440	0,753

Se constată că valorile K_i variază între limite relativ largi, de circa 100%; în conformitate cu [2], acest rezultat nu se acceptă ca definitiv și trebuie să se introducă noi considerații.

Se știe că, după cum criteriul adevărului este practica, criteriul teoriei — așa cum este și deducția de mai sus făcută pe baze dimensionale — este experimentul, [4]. Ca urmare, se iau în considerare rezultatele cercetărilor experimentale efectuate de Nikuradze. Din ele se obține că trebuie să se admită variația factorului K în funcție de numărul Reynolds și, cel mai general, se scrie sub forma :

$$K = k\,\mathrm{Re}^x. \tag{9}$$

Relațiile (8) și (9) conduc la ecuația

$$\Delta p = k\,\mathrm{Re}^x \left(\frac{(v^3 \rho \eta l^2}{d^3}\right)^{0,5}. \tag{10}$$

Cu datele din tabelele 1 și 2 se scriu următoarele ecuații de tipul (10) :

$$\begin{aligned} 0,806 &= 0,594\ k\ 602^x && (1)\\ 0,954 &= 0,803\ k\ 794^x && (2)\\ 0,990 &= 0,970\ k\ 1053^x && (3)\\ 1,276 &= 1,500\ k\ 1515^x && (4)\\ 1,440 &= 1,916\ k\ 1930^x, && (5) \end{aligned} \tag{11}$$

în care intervin necunoscutele k și x. Se consideră diverse combinații de cîte două ecuații și se determină soluțiile. În tabelul 3 se prezintă rezultatele calculelor.

Tabelul 3

Ecuațiile	k	x
11. 1,2	31,6	−0,492
11. 2,3	31,0	−0,506
11. 3,4	33,2	−0,501
11. 4,5	34,3	−0,511
11. 3,5	30,0	−0,505

Se constată că acum valorile k și x variază respectiv între limite restrînse; ca urmare, se pot admite valorile medii aritmetice $k_m = 32,02$ și $x_m = -0,503$. Practic se poate considera :

$$k = 32; \qquad x = -0,5. \tag{12}$$

Relația (10) ia astfel forma definitivă :

$$\Delta p = \frac{32}{\mathrm{Re}^{0,5}} \left(\frac{v^3 \rho \eta l^2}{d^3}\right)^{0,5}. \tag{13}$$

Concluzii

Se poate constata cu ușurință, pe baza unor transformări matematice simple, că relația dedusă prin analiza dimensională generală are forma :

$$\Delta p = \frac{64}{\mathrm{Re}} \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{l}{d}, \tag{14}$$

care a fost stabilită de Hagen — Poiseuille, prin rezolvarea exactă a ecuațiilor Navier — Stokes, ale mișcării fluidelor reale.

Bibliografie

[1] Vasilescu, Al. A. *Curs de hidromecanică*. Editura didactică și pedagogică, București, 1962.

[2] Staicu, C. I. *Analiza dimensională generală*. Editura tehnică, București, 1976.

[3] Novoselov. S. I. *Curs special de algebră elementară* (trad. din l. rusă). Editura tehnică, București, 1955.

[4] Florescu, M. *Dimensiunile cunoașterii*. Editura politică, București, 1977.

(Articol intrat în redacție la 3 octombrie 1977)

Repartizarea economică a sarcinii între cazane funcționînd în paralel

Dr. ing. C. Neaga *)

1. Una dintre căile importante de economisire a combustibililor o constituie repartizarea optimă a sarcinii între cazane. Problema se poate ridica atît la nivelul centralei, cît și la nivelul sistemului energetic național. Astfel, sînt cuprinse atît centralele cu bară colectoare a aburului supraîncălzit, cît și schemele bloc cazan-turbogenerator. De asemenea, problema repartizării economice a sarcinii există și în cazul cazanelor montate în centrale termice, precum și al celor industriale.

Metoda se bazează pe următorul principiu: repartizarea sarcinii între cazane este optimă atunci cînd consumul total de combustibil este minim.

2. Se consideră, într-o centrală, montate în paralel n cazane cu caracteristici de funcționare diferite. Se notează cu D_t, în kgf/h, debitul total cerut de sala turbinelor, adică:

$$D_t = D_1 + D_2 + \ldots + D_n = \sum_{i=1}^{n} D_i. \qquad (1)$$

Consumul total de combustibil, în kgf/h sau Nm³/h, solicitat de cele n cazane are expresia:

$$B_t = B_1 + B_2 + \ldots + B_n = \sum_{i=1}^{n} B_i, \qquad (2)$$

unde caracteristica de consum a fiecărui cazan, $B_i = f_i\,(D_i)$, se cunoaște; pentru simplificare ea se presupune un polinom de gradul doi:

$$B_i = B_{0i} + a_i D_i + b_i D_i^2, \qquad (3)$$

unde B_{0i} este consumul de mers în gol al cazanului i, în kgf/h sau Nm³/h; a_i, b_i — coeficienți numerici deduși experimental, în kgf/kgf sau Nm³/kgf, respectiv în kgf/kgf² sau Nm³h/kgf².

Expresia consumului total de combustibil (formula 2) se mai poate scrie:

$$B_t = f_1(D_1) + f_2(D_2) + \ldots + f_n(D_n). \qquad (4)$$

Întrucît debitul total D_t se cunoaște, rezultă debitul cazanului n:

$$D_n = D_t - \sum_{i=1}^{n-1} D_i, \qquad (5)$$

astfel că B_t este funcție numai de $n-1$ variabile independente (primele $n-1$ debite).

Pentru a avea repartiția economică a sarcinii pe cele n cazane, trebuie ca B_t să fie minim. Condițiile de minim sînt:

— derivatele parțiale ale funcției în raport cu variabilele să fie nule, adică:

$$\frac{\partial B_t}{\partial D_1} = \frac{\partial B_t}{\partial D_2} = \ldots = \frac{\partial B_t}{\partial D_{n-1}} = 0; \qquad (6)$$

— determinantul derivatelor parțiale de ordinul al doilea ale funcției să fie pozitiv

$$\Delta_{n-1} = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_1 \partial D_1} & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_1 \partial D_2} & \cdots & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_1 \partial D_{n-1}} \\ \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_2 \partial D_1} & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_2 \partial D_2} & \cdots & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_2 \partial D_{n-1}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_{n-1} \partial D_1} & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_{n-1} \partial D_2} & \cdots & \frac{\partial^2 B_t}{\partial D_{n-1} \partial D_{n-1}} \end{vmatrix} > 0$$

(Această condiție se consideră îndeplinită, deoarece derivata secundă a caracteristicii de consum este pozitivă — concavitatea este îndreptată spre ordonatele pozitive).

Prima condiție de minim (formula 6) conduce la egalitățile:

$$\frac{dB_1}{dD_1} = \frac{dB_2}{dD_2} = \ldots = \frac{dB_n}{dD_n}, \qquad (8)$$

adică sarcinile D_1, D_2,...,D_n cu care trebuie să funcționeze cazanele sînt economice dacă tangentele geometrice în punctele de funcționare ale caracteristicilor de consum sînt paralele, sau, ceea ce este același lucru, derivatele egale. Aceasta constituie metoda de repartiție economică a sarcinii între cazane funcționînd în paralel după principiul egalității „creșterilor relative" ale consumurilor orare de combustibil.

Din cele arătate se desprinde metoda grafică de repartiție a sarcinii între cazane.

3.1. Pentru simplificarea calculelor, se vor considera montate în paralel două tipuri de cazane:

— tipul I, în număr de n_1 cazane, cu caracteristica:

$$B_1 = B_{01} + a_1 D_1 + b_1 D_1^2; \qquad (9)$$

— tipul II, în număr de n_2 cazane, cu caracteristica:

$$B_2 = B_{02} + a_2 D_2 + b_2 D_2^2. \qquad (10)$$

Debitul total cerut la un moment dat trebuie să satisfacă expresia:

$$D_t = n_1 D_1 + n_2 D_2 = \text{const.} \qquad (11)$$

* Dr. ing. Const. Neaga este șef de lucrări la Institutul politehnic București.

Condiția (8) devine :

$$a_1 + 2b_1D_1 = a_2 + 2\,b_2D_2.$$

care împreună cu (11) formează un sistem, din a cărui rezolvare se obțin sarcinile economice cu care trebuie să funcționeze cele $n_1 + n_2$ cazane montate în paralel :

$$D_1 = \frac{(a_2 - a_1)n_2 + 2b_2D_t}{2(b_1n_2 + b_2n_1)};$$

$$D_2 = \frac{(a_1 - a_2)n_1 + 2b_1D_t}{2(b_1n_2 + b_2n_1)}. \qquad (12)$$

Într-adevăr, debitele D_1 și D_2 conduc la un consum orar de combustibil pe centrală minim :

$$B_t = n_1B_1 + n_2\,B_2 = n_1(B_{01} + a_1D_1 + b_1D_1^2) + \\ + n_2(B_{02} + a_2D_2 + b_2D_2^2). \qquad (13)$$

$$D_2 = \frac{D_t - n_1D_1}{n_2}.$$

Înlocuind expresia lui D_2 în consumul orar total de combustibil și anulînd prima derivată în raport cu D_1, se găsește :

$$\frac{\mathrm{d}B_t}{\mathrm{d}D_1} = n_1(a_1 + 2\,b_1D_1) + n_2\left[- a_2\frac{n_1}{n_2} - \right.$$

$$\left. - 2b_2\frac{n_1}{n_2^2}(D_t - n_1D_1)\right] = 0;$$

rezolvînd, rezultă formulele (12).

Dacă în formula (13) se introduc expresiile debitelor D_1 și D_2, rezultă consumul orar total minim.

3.2. Cazul a trei tipuri de cazane montate în paralel ; tipul III, în număr de n_3 cazane, cu caracteristica :

$$B_3 = B_{03} + a_3\,D_3 + b_3\,D_3^2 \qquad (14)$$

Debitul total de abur :

$$D_t = n_1D_1 + n_2D_2 + n_3D_3 = \text{const.}$$

formează, cu condiția (8)

$$a_1 + 2b_1D_1 = a_2 + 2b_2D_2 = a_3 + 2b_3D_3,$$

un sistem care, rezolvat, conduce la valorile sarcinilor economice :

$$D_1 = \frac{b_2n_3(a_3 - a_1) + b_3n_2(a_2 - a_1) + 2b_2b_3D_t}{2(b_1b_2n_3 + b_2b_3n_1 + b_1b_3n_2)};$$

$$D_2 = \frac{a_1 - a_2}{2b_2} + \frac{b_1}{b_2}\,D_1;$$

$$D_3 = \frac{a_1 - a_3}{2b_3} + \frac{b_1}{b_3}\,D_1.$$

4. Exemplu. Într-o centrală termoelectrică funcționează în paralel $n_1 = 3$ cazane de abur avînd $D_{max} = 240 \cdot 10^3$ kgf/h și caracteristica de consum

$$B_1 = 10{,}225 + 0{,}211\;D_1 + 4{,}17 \cdot 10^{-4}\;D_1^2$$

și $n_2 = 2$ cazane cu $D_{max} = 350.10^3$ kgf/h și caracteristica de consum

$$B_2 = 25 + 0{,}13\;D_2 + 4{,}4 \cdot 10^{-4}\;D_2^2.$$

La un moment dat, sala turbinelor solicită debitul total $D_t = 1000.10^3$ kgf/h. Se cere să se repartizeze economic această sarcină pe cele cinci cazane.

Se va calcula întîi sarcina economică a fiecărui cazan (sarcina care se realizează cu consumul specific minim de combustibil).

În general, caracteristica de consum are expresia :

$$B = B_0 + aD + bD^2.$$

Consumul specific de combustibil

$$c = \frac{B}{D} = \frac{B_0}{D} + a + bD,$$

are minimul la sarcina economică

$$\frac{\mathrm{d}c}{\mathrm{d}D} = - \frac{B_0}{D^2} + b = 0\,;\; D_e = \sqrt{\frac{B_0}{b}}.$$

Pentru cele două tipuri de cazane funcționînd separat, sarcinile economice sînt :

$$Dc_1 = \sqrt{\frac{10{,}225}{4{,}17}\,10^4} = 156{,}8 \text{ tf/h};$$

$$Dc_2 = \sqrt{\frac{25}{4{,}4}10^4} = 238 \text{ tf/h}.$$

La funcționarea simultană, repartizarea economică se face conform formulelor (12) :

$$D_1 = \frac{2(0{,}13 - 0{,}211) + 2.4{,}4.10^{-4}.1000}{2(4{,}17.10^{-4} \cdot 2 + 4{,}4.10^{-4}.3)} = 166{,}67 \text{ tf/h};$$

$$D_2 = \frac{3(0{,}211 - 0{,}13) + 2.4{,}17.10^{-4}.1000}{2(4{,}17 \cdot 10^{-4}.2 + 4{,}4.10^{-4}.3)} = 250 \text{ tf/h}.$$

Debitul total minim de combustibil se calculează cu formula (13) :

$$B_{t\,min} = 3(10{,}225 + 0{,}211 \cdot 166{,}67 + 4{,}17.10^{-4}.166{,}67^2) + \\ + 2(25 + 0{,}13.250 + 4{,}4.10^{-4}.250^2) = 340{,}925 \text{ tf/h}.$$

5. Pornindu-se de la considerente pur matematice, s-a prezentat metodica de calcul a repartizării economice a sarcinii între cazane, metodică ce presupune însă cunoașterea caracteristicii de funcționare a fiecărui cazan.

Bibliografie

[1] Kovalev, A. P. *Parogheneratorl.* Energhiia, Moscova-Leningrad, 1966.

(Articol intrat în redacție la 20 septembrie 1976)

Repartizarea optimă a debitelor de abur pe sursele Centralei electrice de termoficare Oradea

Ing. Osváth Szabolcs*)

1. Repartizarea optimă a debitelor de abur pe cazanele CET Oradea

CET Oradea este dotată cu cinci cazane de abur care debitează pe o bară colectoare de abur comună. Încărcarea optimă a cazanelor se obține la consumul minim de combustibil pentru producerea unui debit de abur cerut de la sala cazanelor.

Funcția-obiectiv :

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{5} B_i = MIN,$$

în care s-a notat cu B_i consumul de combustibil pentru cazanul i.

Variația consumului de combustibil funcție de sarcina cazanului are forma unui polinom de gradul doi.

$$B_i = a_i + c_i \cdot D_i + e_i D_i^2, \qquad (1)$$

în care

a_i, c_i și e_i sînt coeficienții funcției ;

a_i — consumul de mers în gol al cazanului ;

D_i — debitul de abur al cazanului i.

Debitul fiecărui cazan poate primi valori pînă la valoarea maximă, iar suma debitelor cazanelor trebuie să fie egală cu debitul de abur cerut de la sala cazanelor, D.

$$D = \sum_{i=1}^{5} D_i$$

Este o problemă de optimizare cu restricții, care se rezolvă cu metoda multiplicatorilor lui Lagrange. Se formează o funcție auxiliară :

$$\Phi = \Gamma + \lambda g,$$

în care λ este multiplicator, iar g — restricție.

$$g = \sum_{i=1}^{5} D_i - D = 0$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^{5} B_i(D_i) + \lambda \left(\sum_{i=1}^{5} D_i - D \right)$$

Derivînd funcția, se obține un sistem de ecuații :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial B_1}{\partial D_1} = \dfrac{\partial B_2}{\partial D_2} = \dfrac{\partial B_3}{\partial D_3} = \dfrac{\partial B_4}{\partial D_4} = \dfrac{\partial B_5}{\partial D_5} \\ \sum\limits_{i=1}^{5} D_i - D = 0 \end{cases} \qquad (2)$$

* Osváth Szabolcs este inginer principal la Întreprinderea Electrocentrale Oradea.

Debitele optime se găsesc în punctele în care tangentele sînt paralele la curbele (1) și se obțin prin rezolvarea sistemului de ecuații (2). Coeficienții funcției (1) s-au determinat din rezultatele măsurătorilor de performanță efectuate de ICEMENERG în anul 1976.

$$D_{5opt} = \frac{D - \left(\dfrac{c_5 - c_1}{2\,e_1} + \dfrac{c_5 - c_2}{2e_2} + \dfrac{c_5 - c_3}{2e_3} + \dfrac{c_5 - c_4}{2e_4} \right)}{1 + \dfrac{e_5}{e_1} + \dfrac{e_5}{e_2} + \dfrac{e_5}{e_3} + \dfrac{e_5}{e_4}}$$

$$D_{1opt} = \frac{c_5 - c_1 + 2e_5 D_{5opt}}{2e_1}$$

$$D_{2opt} = \frac{c_5 - c_2 + 2e_5 D_{5opt}}{2e_2}$$

$$D_{3opt} = \frac{c_5 - c_3 + 2e_5 D_{5opt}}{2\,e_3}$$

$$D_{4opt} = \frac{c_5 - c_4 + 2e_5 D_{5opt}}{2e_4}$$

Rezolvînd problema pe calculator pentru toată plaja de variație a debitului sălii cazanelor, cu un pas de 10 t/h, s-au obținut valori pentru debite optime care au depășit valorile maxime pentru cazanele 1 și 2. A fost necesară modificarea programului în așa fel ca să se evite depășirea debitelor maxime. S-a procedat în felul următor : fiecare debit obținut s-a comparat cu debitul maxim. Dacă debitul optim calculat a fost mai mare decît debitul maxim, s-a limitat debitul optim la valoarea maximă și s-au optimizat în continuare debitele celorlalte cazane.

Problema s-a rezolvat și pentru cazul opririi pe rînd a fiecărui cazan.

Rezultatele obținute pentru varianta cu toate cazanele în funcțiune sînt prezentate sub formă grafică în figura 1.

2. Repartizarea optimă a debitelor de abur pe prizele turbinelor la CET Oradea pentru două regimuri de încărcare

CET Oradea este dotată cu cinci turbine de termoficare, fiecare avînd două prize reglabile.

Repartizarea consumului de căldură pe prizele centralei se face ținînd seamă de eficiența economică mai mare pe care o au prizele de joasă presiune. Din această repartizare rezultă debitul total de abur prelevat pe prizele urbane D_I și debitul total de abur prelevat pe prizele industriale D_{II}.

Lucrarea de față își propune repartizarea optimă a debitelor D_I și D_{II} pe prizele celor cinci turbine, avînd drept criteriu consumul

minim de combustibil pentru două regimuri de funcţionare:

a) Regim de iarnă, cînd prizele sînt încărcate la maximum.

b) Regim de vară, cînd prizele de termoficare urbană asigură apa caldă menajeră pentru oraş şi consumul serviciilor interne.

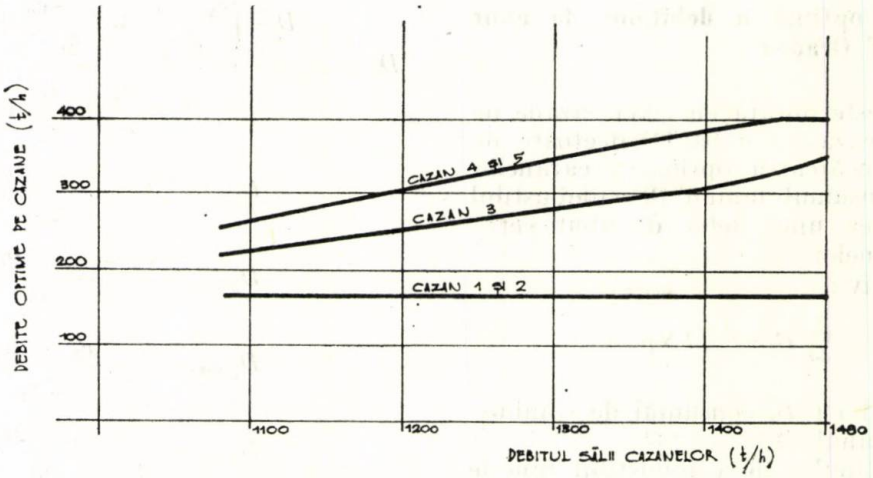


Fig. 1. Diagrama de variaţie a debitelor optime pe cazane. Varianta cu toate cazanele în funcţiune.

Ecuaţia consumului de căldură pentru o turbină cu două prize reglabile este după [1]:

$$Q = Q_x + q_k . N + (1 - \beta_I) Q_I + (1 - \beta_{II}) Q_{II} \quad [\text{Gcal/h}],$$

în care

Q_x este consumul convenţional de căldură la mers în gol, în Gcal/h;

q_k — consumul specific parţial de căldură pentru energie electrică produsă în regim de condensaţie, în Gcal/MWh;

N — puterea electrică, în MW;

Q_I — sarcina termică a prizei de termoficare urbană, în Gcal/h;

Q_{II} — sarcina termică a prizei de termoficare industrială, în Gcal/h;

$(1-\beta_I)$ — coeficientul prizei urbane;

$(1-\beta_{II})$ — coeficientul prizei industriale.

Coeficientul prizei $(1-\beta)$ exprimă consumul suplimentar de căldură al 1 Gcal/h sarcină prelevată pe priză.

Pentru scrierea ecuaţiei consumului de căldură se construiesc caracteristicile energetice în regim de condensaţie şi în regim de termoficare la priza urbană şi industrială.

Utilizînd forma liniarizată a diagramelor de regimuri, se introduce o eroare în aprecierea economicităţii diverselor regimuri de funcţionare, ca urmare a pierderilor cauzate de laminarea aburului la deschiderea parţială a ventilelor de reglaj.

Caracteristica energetică în regim de condensaţie

Folosind diagrama de regim şi liniarizînd curba regimurilor de condensaţie (fig. 2), se află consumul nominal de abur D_{kn} corespunzător puterii nominale în condensaţie N_{kn} şi mărimea consumului convenţional de mers în gol al caracteristicii în regim de condensaţie D_x. Se calculează:

$$Q_{kn} = D_{kn}(i_0 - i_{alk}) . 10^{-3} \quad [\text{Gcal/h}],$$

în care:

i_0 este entalpia aburului viu, în kcal/kgf:

i_{alk} — entalpia apei de alimentare corespunzătoare debitului D_{kn}.

$$Q_{xk} = D_x(i_0 - i_{alx}) . 10^{-3} \quad [\text{Gcal/h}],$$

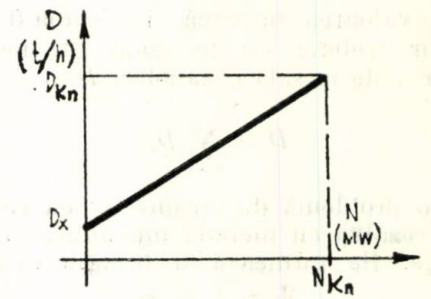


Fig. 2

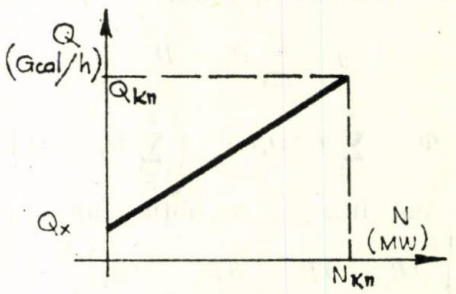


Fig. 3

în care i_{alx} este entalpia minimă a apei de alimentare.

Cu cele obţinute se construieşte caracteristica energetică a turbinei în regim de condensaţie (fig. 3).

Caracteristica energetică a prizei de termoficare urbană

Pentru diverse debite ale prizei de termoficare urbană D_I se citesc din diagrama de regim valorile puterii electrice dezvoltate în regim

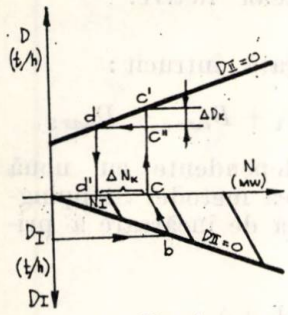


Fig. 4

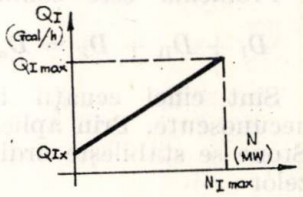


Fig. 5

de termoficare N_I, considerîndu-se priza de termoficare industrială închisă $D_{II} = 0$.

Întrucît puterea corespunzătoare punctului c din figura 4 include şi o putere ΔN_k produsă de debitul minim în condensaţie ΔD_k, N_I se află prin verticala coborîtă din intersecţia dreptei $D_{II} = 0$ cu orizontala dusă din punctul c'', astfel ca $c''c' = \Delta D_k$.

Caracteristica energetică a prizei de termoficare urbană se obţine prin liniarizarea curbei $Q_I = f(N_I)$.

$$Q_I = D_I\,(i_I - i_{I\,ret}) \cdot 10^{-3} \quad [\text{Gcal/h}],$$

în care

i_I este entalpia aburului la priza urbană, în kcal/kgf;

$i_{I\,ret}$ — entalpia condensatului returnat din aburul prelevat la priza urbană, în kcal/kgf.

Caracteristica energetică a prizei de termoficare urbană este prezentată în figura 5, în care Q_{Ix} este componenta termică a consumului de mers în gol al prizei urbane.

Caracteristica energetică a prizei de termoficare industrială

Pentru diverse debite ale prizei de termoficare industrială D_{II}, se citesc din diagrama de regim valorile puterii electrice dezvoltate în regim de termoficare N_{II}, considerîndu-se priza de termoficare urbană închisă, $D_I = 0$.

Întrucît puterea corespunzătoare punctului a din figura 6, de intersecţie a dreptei $D_{II} =$ $=$ ct. cu dreapta debitului minim de intrare în corpul de medie presiune, $D_{CMP} = min$, include şi o putere ΔN_k produsă de debitul minim în condensaţie ΔD_k, N_{II} se află prin verticala coborîtă din intersecţia dreptei $D_{II} =$ ct. cu orizontala dusă din punctul a'', astfel ca $aa'' = \Delta D_K$.

Caracteristica energetică a prizei de termoficare industrială, prezentată în figura 7, se obţine prin liniarizarea curbei $Q_{II} = f(N_{II})$.

$$Q_{II} = D_{II}\,(i_{II} - i_{II\,ret}) \cdot 10^{-3} \quad [\text{Gcal/h}]$$

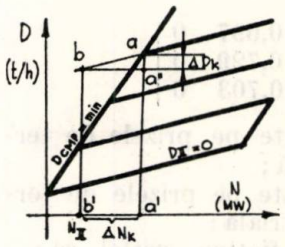


Fig. 6

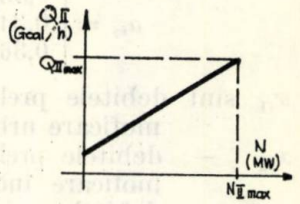


Fig. 7

în care

i_{II} este entalpia aburului la priza industrială în kcal/kgf;

$i_{II\,ret}$ — entalpia condensatului returnat din aburul prelevat la priza industrială, în kcal/kgf.

În figura 7, Q_{IIx} este componenta termică a consumului de mers în gol al prizei industriale.

Consumul convenţional de mers în gol se determină:

$$Q_x = Q_{xk} - 0{,}3\,\frac{Q_{Ix} + Q_{IIx}}{2} + \frac{\beta_I + \beta_{II}}{2} \cdot \frac{Q_{Ix} + Q_{IIx}}{2} \quad [\text{Gcal/h}]$$

$$\beta_I = \frac{N_{I\,max}}{Q_{I\,max} - Q_{Ix}}\,(q_k - q_T)$$

$$\beta_{II} = \frac{N_{II\,max}}{Q_{II\,max} - Q_{IIx}}\,(q_k - q_T)$$

$$q_k = \frac{Q_{kn} - Q_{xk}}{N_{kn}} \quad [\text{Gcal/MWh}]$$

$$q_T = \frac{0{,}86}{\eta_m \cdot \eta_g} \quad [\text{Gcal/MWh}],$$

în care

η_m este randamentul mecanic;

η_g — randamentul generatorului.

Ecuaţiile consumurilor de căldură sînt:

— pentru turbinele 1 şi 2:

$$Q_1 = 6{,}1 + 2{,}235\,N_1 + 0{,}335\,Q_{I1} + 0{,}697\,Q_{II1}$$

— pentru turbina 3:

$$Q_2 = 13{,}1 + 2{,}125\,N_2 + 0{,}345\,Q_{I2} + 0{,}729\,Q_{II2}$$

— pentru turbinele 4 şi 5:

$$Q_3 = 18{,}49 + 2{,}012\,N_3 + 0{,}364\,Q_{I3} + 0{,}703\,Q_{II3}$$

Funcţia-obiectiv este:

$$\Gamma = Q_1 + Q_2 + Q_3 = MIN$$

Este o problemă de programare liniară:

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} a_{ij} \cdot x_{ij} = MIN$$

unde:

$$a_{ij} = \begin{vmatrix} 0{,}335 & 0{,}697 & 0 \\ 0{,}345 & 0{,}729 & 0 \\ 0{,}364 & 0{,}703 & 0 \end{vmatrix}$$

x_{i1} sînt debitele prelevate pe prizele de termoficare urbană;

x_{i2} — debitele prelevate pe prizele de termoficare industrială;

x_{i3} — debitele prizei fictive, astfel ca:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} = D_{max1} \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} = D_{max2} \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} = D_{max3} \end{cases} \quad (3)$$

unde D_{max1}, D_{max2} și D_{max3} sînt debitele simultane maxime pentru prizele turbinelor.

Bilanțul de abur pe nivele de presiune:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} = D_{\text{I}} \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = D_{\text{II}} \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = D_F \end{cases} \quad (4)$$

unde D_F este suma debitelor fictive.

Problema este echilibrată întrucît:

$$D_{\text{I}} + D_{\text{II}} + D_F = D_{max\,1} + D_{max\,2} + D_{max\,3}$$

Sînt cinci ecuații independente cu nouă necunoscute. Prin aplicarea metodei Stepping-Stone se stabilește ordinea de încărcare a prizelor:

1) priza industrială turbinele 4 și 5
2) priza urbană turbina 3
3) priza urbană turbinele 1 și 2
4) priza industrială turbinele 1 și 2
5) priza industrială turbina 3
6) priza urbană turbinele 4 și 5.

Observație. Această ordine de încărcare servește pentru repartizarea debitelor D_{I} și D_{II} stabilite anterior.

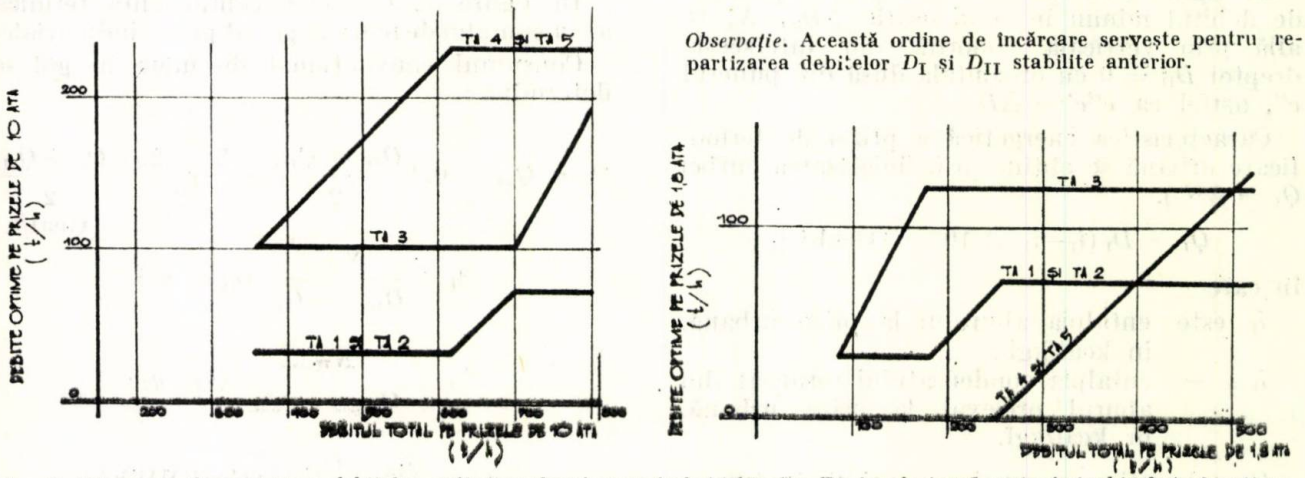


Fig. 8. Diagrame de variație a debitelor optime prelevate pe prizele turbinelor. Regim de iarnă cu toate turbinele în funcțiune.

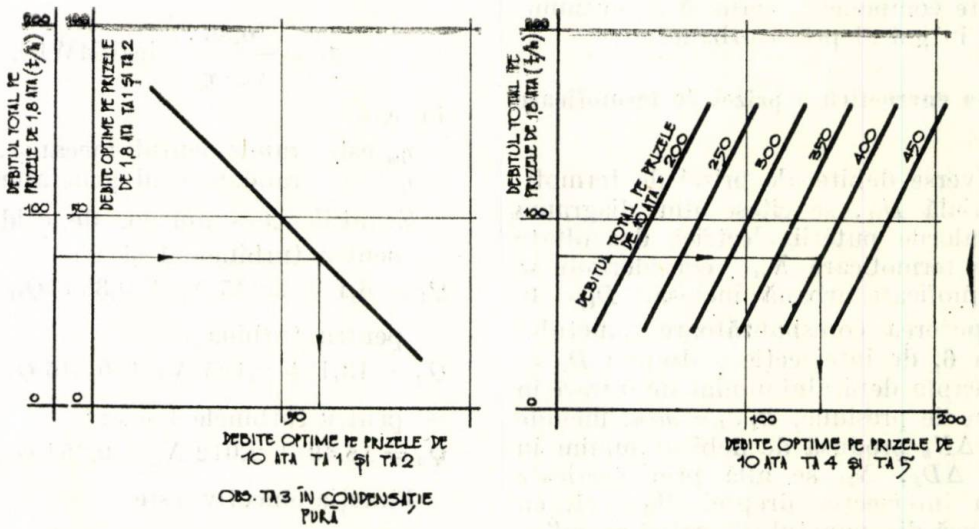


Fig. 9. Diagrama de variație a debitelor optime prelevate pe prizele turbinelor. Regim de vară cu toate turbinele în funcțiune.

a) *Rezolvarea problemei pentru regimul de iarnă*

În cazul încărcării prizelor la debitele maxime simultane, ecuațiile (3) și (4) devin :

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} = D_{max1} \\ x_{21} + x_{22} = D_{max2} \\ x_{31} + x_{32} = D_{max3} \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = D_{\mathrm{I}} \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = D_{\mathrm{II}} \end{cases}$$

S-a rezolvat cu metoda colțului nord-vest, cu calculator pentru toată plaja de variație a debitelor D_{I} și D_{II}, aplicînd un pas de 10 t/h. Rezultatele obținute, pentru varianta cu toate turbinele în funcțiune, sînt prezentate grafic în figura 8.

b) *Rezolvarea problemei pentru regimul de vară*

Problema se simplifică, încărcînd tot debitul urban pe prizele turbinelor 1 și 2. Ecuațiile (3) și (4) devin :

$$\begin{cases} D_{\mathrm{I}} + x_{12} + x_{13} = D_{max1} \\ x_{22} + x_{23} = D_{max2} \\ x_{32} + x_{33} = D_{max3} \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = D_{\mathrm{II}} \end{cases}$$

Funcția-obiectiv este :

$$\Gamma = 0{,}687\, x_{12} + 0{,}729\, x_{22} + 0{,}703\, x_{32} = MIN.$$

Problema este nedeterminată întrucît sînt șase necunoscute și patru ecuații. Se rezolvă cu metoda SIMPLEX, utilizînd programul din biblioteca calculatorului FELIX C—256.

Rezultatele obținute pentru varianta cu toate turbinele în funcțiune sînt prezentate grafic în figura 9.

Bibliografie

[1] Leventa l, G. B. și Melentiev, L. A. *Tehniki i economiceskie osnovi razvitiia teplofikații v energosistemah.* Gosenergoizdat, Moscova, 1961.

[2] Goliciu, D. și Csapo, V. *Instrucțiuni pentru aplicarea în exploatare a controlului consumului specific de căldură — prin postcalcul la centrale de termoficare.* Lucrare ICEMENERG, 1973.

[3] Dancea, I. *Metode de optimizare.* Colecția Informatica, Editura Dacia, Cluj, 1976.

(Articol intrat în redacție la 27 februarie 1978)

Studiul componentelor continue și alternative ale tensiunii și curentului redresat la funcționarea în tampon la unui redresor cu o baterie de acumulatoare

Ing. **M. Daniliuc**
și tehn. **V. Mititiuc** *)

1. Considerații generale

În stațiile electrice de transformare se folosește pentru asigurarea curentului operativ continuu o baterie de acumulatoare ce funcționează în tampon cu redresorul de încărcare. Deoarece, în literatura de specialitate, această problemă este tratată sumar, lucrarea de față își propune să determine expresiile generale ale tensiunii și curentului redresat la funcționarea în tampon a unui redresor cu o baterie de acumulatoare, limitele de variație a unghiului de aprindere α_a, variația componentelor continue și alternative ale curentului și tensiunii redresate în funcție de unghiul de aprindere, variația tensiunii contraelectromotoare E a bateriei, funcție de unghiul de aprindere, variația curentului de vîrf, precum și modul cum se reduce componenta alternativă a tensiunii redresate în comparație cu situația în care redresorul debitează pe o rezistență oarecare.

Avîndu-se în vedere că în stațiile de transformare se folosesc redresoare monofazate în punte pentru tensiunea de 48 V c.c. și redresoare trifazate în punte pentru tensiunea de 220 V c.c., lucrarea se referă în special la aceste cazuri, formulele generale fiind valabile pentru orice număr de faze.

Lucrarea fundamentează teoretic o realizare practică destinată semnalizării arderii siguranțelor generale ale bateriei de acumulatoare din stațiile de transformare.

2. Expresia tensiunii redresate

Curentul și tensiunea redresată, în cazul general al unui redresor cu m faze, pot fi dezvoltate în serie Fourier, din care rezultă o componentă medie sau continuă și o serie de armonici al căror rang este multiplu întreg al numărului de faze.

Se consideră un redresor cu m faze ce funcționează în tampon cu t.c.e.m. a bateriei de acumulatoare.

Dacă se alege ca origine a timpului momentul în care tensiunea redresată trece prin maximum, ca în figura 1, unda de tensiune este o funcție pară, iar în seria Fourier apar numai termenii în cosinus.

*) Mihai Daniliuc este inginer principal proiectant la IRE Suceava ; Vasile Mititiuc este tehnician electronist la aceeași întreprindere.

Referindu-ne la figura 1, expresia tensiunii redresate este:

$$u_d = U_m \cos \omega t \text{ pentru } -\frac{\pi}{m} + \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}$$

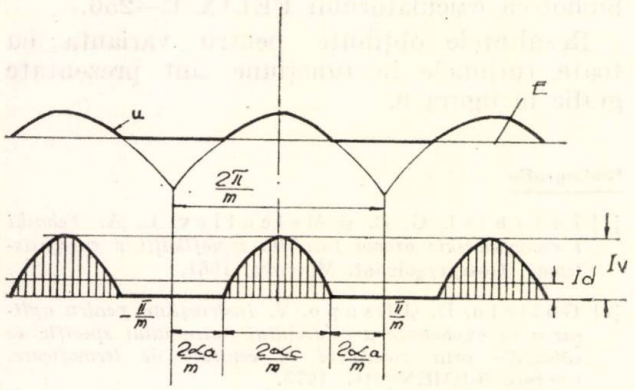


Fig. 1. Forma de undă a tensiunii şi curentului redresat la funcţionarea în tampon a unui redresor cu o baterie de acumulatoare.

şi

$$u_d = E \text{ pentru} \begin{cases} -\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant -\frac{\pi}{m} + \frac{2\alpha_a}{m} \\ \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant \frac{\pi}{m} + \frac{2\alpha_a}{m} \end{cases} \quad (1)$$

unde

m este numărul de faze;
α_a — unghiul la care se deschide elementul semiconductor (de aprindere);
E — tensiunea contraelectromotoare.

Dezvoltînd în serie Fourier relaţia (1) pe intervalul: $-\frac{\pi}{m}, \frac{\pi}{m}$, se obţine:

$$u_d = \frac{m}{\pi} U_m \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \frac{E}{U_m} \cdot \frac{2\alpha_a}{m} + \right.$$

$$+ \frac{2}{n^2-1} \left[n \sin n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \cos\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \right.$$

$$- \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \cos n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) -$$

$$\left. \left. - \frac{n^2-1}{n}, \frac{E}{U_m} \sin n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \right] \cos n\omega t \right\} (2)$$

unde $n = p.m.$, $p = 1,2 \ldots .\infty$

Raportul $\frac{E}{U_m}$ se deduce din relaţia care dă forma de undă a curentului redresat:

$$I_d = \frac{U_m \cdot \cos\omega t - E}{R}. \quad (3)$$

La funcţionarea în tampon, curentul este egal cu zero şi aceasta se produce la momentul

$$\omega t = \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}. \quad (4)$$

Înlocuind valoarea (4) în (3), se obţine:

$$\frac{E}{U_m} = \cos\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \quad (5)$$

Prin înlocuirea expresiei (5) în componenta alternativă a relaţiei (1), se obţine:

$$u_d = \frac{m}{\pi} U_m \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \frac{E}{U_m} \cdot \frac{2\alpha_a}{m} + \right.$$

$$+ \frac{2}{n^2-1} \left[\frac{1}{n} \sin n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \cos\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \right.$$

$$\left. \left. - \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \cos n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \right] \cos n\omega t \right\} (6)$$

Dacă în această relaţie se înlocuieşte $n = p.m.$, după transformările trigonometrice, devine:

$$u_d = \frac{m}{\pi} U_m \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \frac{E}{U_m} \cdot \frac{2\alpha_a}{m} + \right.$$

$$+ 2 \left[\sum_{p=1}^{\infty} \frac{(-1)^{p+1}}{m^2 p^2 - 1} \left(\frac{1}{mp} \sin 2p\alpha \cdot {}_a \cos\left(\frac{\pi}{m} - \right.\right.\right.$$

$$\left. \left. \left. - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) \cos 2p\alpha_a \right] \cos p \cdot m \cdot \omega t \right\} (7)$$

Prima parte din relaţiile (6) şi (7) reprezintă componenta continuă (U_d), iar partea a doua, componenta alternativă a tensiunii redresate.

$$U_d = \frac{m}{\pi} \cdot U_m \left[\sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \frac{E}{U_m} \cdot \frac{2\alpha_a}{m} \right] (8)$$

3. Expresia curentului redresat

Valoarea instantanee a curentului redresat este dată de relaţia:

$$i_d = \frac{U_m \cos \omega t - E}{R}$$

pe intervalul $-\frac{\pi}{m} + \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}$

şi (9)

$$i_d = 0$$

pe intervalele $\begin{cases} -\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant -\frac{\pi}{m} + \frac{2\alpha_a}{m} \\ \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m} \leqslant \omega t \leqslant \frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m} \end{cases}$

unde:

$R = R_i + R_b$

R_i — rezistenţa internă a redresorului;
R_b — rezistenţa bateriei de acumulatoare.

Dezvoltînd în serie Fourier relaţia (9) şi notînd

$$i_{bm} = \frac{U_m}{R} \tag{10}$$

drept un curent de referinţă maxim ce s-ar obţine dacă tensiunea U_m s-ar aplica sarcinii R, rezultă pentru curentul redresat o expresie de forma:

$$i_d = \frac{m}{\pi} I_{bm} \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \right.$$

$$+ \frac{2}{n^2-1}\left[\frac{1}{n}\sin n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right)\cos\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \right.$$

$$\left.\left. - \cos n\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right)\sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right)\right]\cos n\,\omega\, t\right\}, \tag{11}$$

care mai poate fi scrisă şi sub forma:

$$i_d = \frac{m}{\pi} I_{bm} \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \right.$$

$$+ 2\left[\sum_{p=1}^{\infty} \frac{(-1)^{p+1}}{m^2p^2-1}\left(\frac{1}{m\,p}\sin 2p\alpha_a \cdot \cos\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right)\cos 2p\,\alpha_a\right]\cos p \cdot m \cdot \omega t\right\} \tag{12}$$

Componenta continuă (I_d) a curentului redresat reprezintă prima parte din relaţiile (11) şi (12), şi anume:

$$I_d = \frac{m}{\pi} I_{bm}\left[\sin\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right) - \frac{E}{U_d}\left(\frac{\pi}{m} - \frac{2\alpha_a}{m}\right)\right]. \tag{13}$$

4. Determinarea unghiului de aprindere

În cazul în care sarcina unui redresor este o t.c.e.m., curentul redresat circulă sub acţiunea diferenţei dintre tensiunea medie redresată U_d (determinată de tensiunea de alimentare U) şi t.c.e.m.E [1, pag. 245].

Pentru determinarea unghiului de aprindere α_a se pot considera trei situaţii, şi anume:

4.1. Funcţionarea în tampon a redresorului cu bateria de acumulatoare cînd curentul de sarcină I_s este egal cu zero, adică la barele de curent continuu ale staţiei nu este conectată nici o sarcină.

Determinarea unghiului de aprindere se face cu o oarecare aproximaţie, din cauză că regimul permanent ce se stabileşte la funcţionarea în tampon a redresorului cu bateria de acumulatoare este rezultatul unui proces tranzitoriu şi stabilizarea tensiunii medii redresate şi a t.c.e.m. nu are loc la egalitatea strictă a acestora.

Tensiunea contraelectromotoare a bateriei de acumulatoare determină o creştere a tensiunii redresate, care la rîndul său determină o creştere a t.c.e.m.; aceasta determină iarăşi creşterea valorii medii a tensiunii redresate U_d, ş.a.m.d., pînă cînd se ajunge spre vîrful sinusoidei.

Pe măsură ce t.c.e.m. se apropie ca valoare de tensiunea medie redresată, curentul redresat este din ce în ce mai mic, pînă cînd nu mai

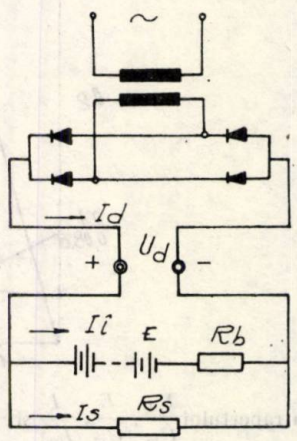


Fig. 2. Circuit redresor dublă alternanţă cu sarcină rezistivă şi forţă contraelectromotoare.

influenţează creşterea t.c.e.m., compensînd doar pierderile din baterie, şi unghiul α_{a0} se stabilizează la o valoare mai mică de 90° ($\alpha_{a0} < 90°$).

Expresiile matematice ce caracterizează acest fenomen sînt :

a) Redresoare monofazate în punte

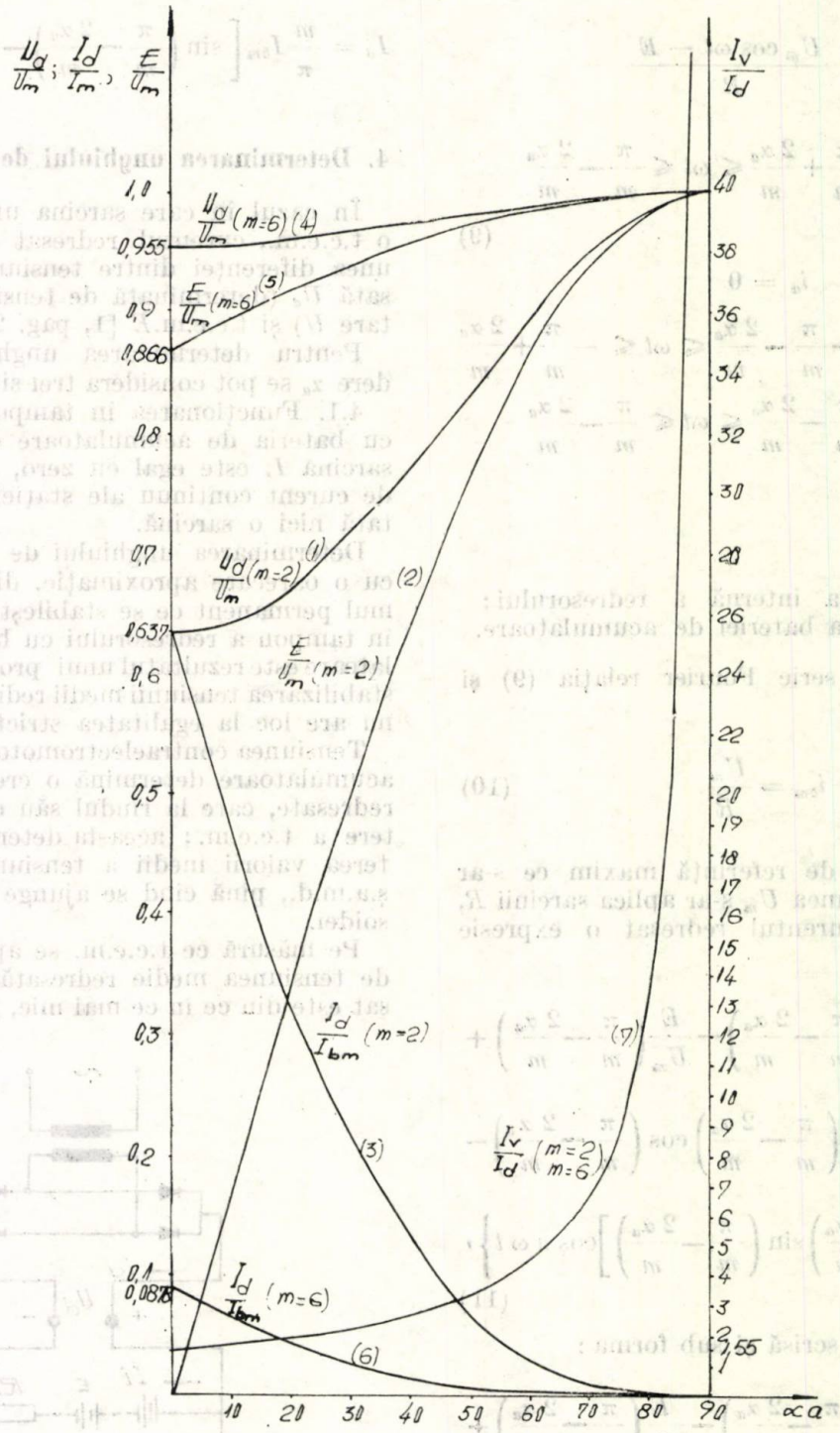


Fig. 3. Variaţia raportului $\frac{U_d}{U_m}, \frac{E}{U_m}, \frac{I}{I_{bm}}$ şi $\frac{I_v}{I_d}$ funcţie de unghiul de aprindere α_a la redresoare mono şi trifazate în punte.

Valoarea medie U_d a tensiunii redresate se obţine din (8) făcînd $m = 2$.

$$U_d = \frac{2}{\pi} U_m \left(\cos\alpha_a + \frac{E}{U_m} \cdot \alpha_a \right), \quad (14)$$

iar $\frac{E}{U_m}$ se obţine din (5) pentru $m = 2$

$$\frac{E}{U_m} = \sin \alpha_a \quad (15)$$

b) Redresoare trifazate în punte:

Din relația (8) rezultă pentru $m = 6$:

$$U_d = \frac{6}{\pi} U_m \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_a}{3}\right) + \frac{E}{U_m} \cdot \frac{\alpha_a}{3} \right] \quad (16)$$

iar din (5) făcînd $m = 6$, se obține:

$$\frac{E}{U_m} = \cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_a}{3}\right) \quad (17)$$

Rezolvarea sistemelor de ecuație (14) cu (15) și (16) cu (17) conduce teoretic la $\alpha_{a0} = 90°$, dar, așa cum s-a arătat mai sus, din punct de vedere practic, odată cu creșterea t.c.e.m. are loc o micșorare continuă a curentului redresat și unghiul de aprindere α_{a0} se stabilizează la o valoare mai mică de 90°.

Rezolvarea celor două ecuații s-a făcut cu ajutorul calculatorului electronic. În figura 3 s-a reprezentat, prin curba *1*, raportul dintre tensiunea medie redresată și tensiunea maximă $\left(\frac{U_d}{U_m}\right)$ obținut din ecuația (14), prin curba *2* — raportul $\frac{E}{U_m}$ din relația (15), prin curba *4* — raportul $\frac{U_d}{U_m}$ din ecuația (16) și prin curba *5* — raportul $\frac{E}{U_m}$ din ecuația (17).

De asemenea, s-a arătat modul de variație a raportului dintre curentul mediu redresat și curentul de bază maxim $\frac{I_d}{I_{bm}}$ pentru redresoarele monofazate în punte (curba *3*) și pentru redresoarele trifazate în punte (curba *6*).

Valoarea medie a curentului redresat pentru redresoare monofazate în punte se obține din (13) pentru $m = 2$:

$$I_d = \frac{2}{\pi} I_{bm} \left[\cos\alpha_a - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_a\right)\right] \quad (18)$$

iar pentru redresoare trifazate, făcînd $m = 6$ în aceeași expresie:

$$I_d = \frac{6}{\pi} I_{bm} \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_a}{3}\right) - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha_a}{3}\right)\right] \quad (19)$$

Din examinarea curbelor $\frac{U_d}{U_m}$ și $\frac{E}{U_m}$ din figura 3, se observă că acestea practic se suprapun între $\alpha_a = 75-80°$. De aceea se poate considera cu o aproximație destul de bună că valoarea maximă a unghiului de aprindere este $\alpha_{a0} = 79°$ pentru redresoare monofazate în punte și $\alpha_{a0} = 77°$ pentru redresoare trifazate în punte.

Cu ajutorul acestei valori maxime a unghiului de aprindere α_{a0}, se poate determina valoarea minimă a componentei alternative a tensiunii, respectiv a curentului redresat la funcționarea normală în tampon.

4.2. Funcționarea în tampon a redresorului cu bateria de acumulatoare cînd curentul de sarcină este diferit de zero ($I_s \neq 0$). Acest caz corespunde situației reale din stațiile de transformare, cînd la barele de curent continuu sînt conectate o serie de relee. În general, acest curent este de ordinul a cîtorva amperi și este mult mai mic decît curentul de încărcare a bateriei. Această situație este intermediară între cazurile extreme: curentul de sarcină egal cu zero (prezentat la punctul 4.1) și încărcarea acumulatorului, caz ce va fi analizat în cele ce urmează.

Spre deosebire de unghiul α_{a0}, care are o valoare aproape constantă, unghiul α_{as} depinde de valoarea curentului de sarcină, I_s. În situația reală din stațiile de transformare, pentru redresoarele trifazate ($m = 6$) unghiul de aprindere α_{as} este mai mic decît unghiul α_{a0} cu aproximativ 5—10°.

4.3. Determinarea unghiului de aprindere la încărcarea bateriei de acumulatoare α_{ai}.

La încărcarea bateriei de acumulatoare cu un curent constant egal cu curentul nominal trebuie să existe o diferență de potențial între tensiunea medie redresată U_d și t.c.e.m.E a bateriei.

Conform relației (2) se poate scrie:

$$U_d = E + R_b\ I_i, \quad (20)$$

unde

U_d este tensiunea medie redresată;

$R_b\ I_i$ — căderea de tensiune datorită trecerii curentului I_i prin rezistența R_b a bateriei.

Notînd $\Delta U = R_b\ I_i$ și înlocuind în (20), rezultă:

$$U_d = E + \Delta U. \quad (21)$$

Împărțind relația (21) prin valoarea maximă a tensiunii U_m, se obține

$$\frac{U_d}{U_m} = \frac{E}{U_m} + \frac{\Delta U}{U_m} \quad (22)$$

Impunîndu-l sau măsurîndu-l pe U_m (se măsoară U_d cu redresorul în gol și se înmulțește cu 0,637 pentru $m = 2$ și cu 0,955 pentru $m = 6$) și cunoscînd pe ΔU, se află raportul

$\frac{\Delta U}{U_m}$, iar cu ajutorul curbelor *1* și *2* sau *4* și *5* din figura 3 se află atît rapoartele $\frac{U_d}{U_m}$ și $\frac{E}{U_m}$, cît și unghiul de aprindere la încărcare $\alpha_{aî}$.

4.3. a) Unghiul de aprindere $\alpha_{aî}$ pentru redresoare monofazate ($m = 2$). Considerăm $U_m = 49$ V.

$$\Delta U = n r_e I_î$$

unde

$n_e = 24$ elemente;

$r_î = 0{,}001185\ \Omega$ — rezistența unui element pentru plăci L3;

$I_î = 21{,}6$ A.

Rezultă $\Delta U = 0{,}62$ V și $\frac{\Delta U}{U_m} = 0{,}013$.

Se caută în figura 3 între curbele *1* și *2* această diferență și se găsește $\alpha_{aî} = 67°$, $\frac{U_d}{U_m} = 0{,}934$ și $\frac{E}{U_m} = 0{,}920$.

4.3. b) Unghiul de aprindere $\alpha_{aî}$ pentru redresoare trifazate ($m = 6$). Se consideră $U_m = 230$ V.

În acest caz: $n = 108$ elemente, r_e și $I_î$ au aceleași valori ca mai sus.

Rezultă: $\Delta U = 2{,}7$ V și $\frac{\Delta U}{U_m} = 0{,}00117$.

Se caută în figura 3 între curbele *4* și *5* această diferență și se găsește $\alpha_î = 45°$ și $\frac{U_d}{U_m} = 0{,}977$, $\frac{E}{U_m} = 0{,}965$.

Ca și $\alpha_{aș}$, unghiul $\alpha_{aî}$ nu are o valoare constantă, ci variază funcție de tipul bateriei de acumulatoare. Totuși acest unghi nu coboară cu mult sub valoarea determinată în exemplele de mai sus.

5. Calculul mărimii componentei alternative a tensiunii redresate

Componenta alternativă a tensiunii redresate este formată din suma tuturor armonicilor superioare și ea are o anumită valoare în cazul în care redresorul debitează pe o rezistență oarecare și o valoare mult mai mică în cazul în care redresorul funcționează în tampon cu o baterie de acumulatoare.

5.1. Componenta alternativă a tensiunii redresate pentru cazul în care redresorul debitează pe o rezistență oarecare.

a) $m = 2$ — redresoare monofazate în punte.

Din [1, p. 256] relația tensiunii redresate este:

$$U_d = U_m \cdot \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{2}{3}\cos 2\omega t - \frac{2}{15}\cos 4\omega t \cdots\right) \tag{23}$$

Notînd cu $U_{dm}^{(p)}$ valoarea maximă a armonicii de rang p din formula (23), se poate scrie:

$$U_{dm}^{(p)} = \frac{2}{\pi}\,\frac{2}{4p^2-1} \cdot U_m,\ p = 1,2 \ldots \infty, \tag{24}$$

de unde:

$$\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m} = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{2}{4p^2-1},\ p = 1,2, \ldots \infty \tag{25}$$

Valoarea relativă a rezultantei armonicilor tensiunii redresate este:

$$U_{r2} = \sqrt{\sum_{p=1}^{\infty}\left(\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m}\right)^2} = \sqrt{\sum_{p=1}^{\infty}\left(\frac{2}{\pi}\,\frac{2}{4p^2-1}\right)^2} \tag{26}$$

Această valoare, calculată cu primii zece termeni ai dezvoltării, s-a reprezentat în figura 4 prin curba *1*.

b) $m = 6$ — redresoare trifazate în punte.

Conform [1, p. 286] raportul dintre valoarea maximă a armonicilor de rang p, ($U_{dm}^{(p)}$) și tensiunea medie redresată este:

$$\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_d} = \frac{2}{n^2-1} \tag{27}$$

iar conform [1, p. 275] se poate scrie:

$$U_d = U_m \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \sin\frac{\pi}{m} \tag{28}$$

Introducînd pe (28) în (27), se obține:

$$U_{dm}^{(p)} = \frac{m}{\pi} \cdot \sin\frac{\pi}{m} \cdot \frac{2}{n^2-1} \tag{29}$$

dar $m = 6$, $n = pm$, $p = 1,2, \ldots \infty$ și rezultă:

$$U_{dm}^{(p)} = \frac{6}{\pi} \cdot \sin\frac{\pi}{6}\,\frac{2}{36p^2-1} \tag{30}$$

Valoarea relativă a armonicii de rang p, obținută prin raportarea la tensiunea maximă redresată, este:

$$\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m} = \frac{6}{\pi}\cdot\frac{1}{36p^2-1} \tag{31}$$

Valoarea relativă a rezultantei armonicilor tensiunii redresate este:

$$U_{r6} = \sqrt{\sum_{p=1}^{\infty}\left(\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m}\right)^2} = \sqrt{\sum_{p=1}^{\infty}\left(\frac{6}{\pi}\,\frac{1}{36p^2-1}\right)^2} \quad (32)$$

Această valoare, calculată cu primii zece termeni ai dezvoltării, s-a reprezentat grafic în figura 4, prin curba *4*.

5.2. Componenta alternativă a tensiunii redresate în cazul în care redresorul funcţionează în tampon cu bateria de acumulare.

a) $m = 2$ — redresoare monofazate în punte

Valoarea maximă a armonicii de rang p din relaţia (7) este:

$$U_{dm}^{(p)} = U_m \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{2(-1^{p+1})}{4p^2-1}\left(\frac{1}{2p}\sin 2p\alpha_a \sin\alpha_a + \right.$$

$$\left. + \cos 2p\alpha_a + \cos\alpha_a\right) \quad (33)$$

Din această relaţie se determină raportul $\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m}$ şi apoi valoarea relativă a rezultantei armonicilor tensiunii redresate, rezultantă notată cu U_{r2f} şi reprezentată în figura 4 prin curba *2*.

b) $m = 6$ — redresoare trifazate în punte. Din relaţia (7) mărimea maximă a armonicii de rang p este:

$$U_{dm}^{(p)} = U_m \cdot \frac{6}{\pi} \cdot \frac{2(-1)^{p+1}}{36p^2-1}\left[\frac{1}{6p}\sin 2p\alpha_a \cdot \right.$$

$$\left. \cdot\cos\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right) + \cos 2p\alpha_a \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right)\right] \quad (34)$$

Similar ca la punctul a), se determină raportul $\frac{U_{dm}^{(p)}}{U_m}$ şi apoi valoarea relativă a rezultantei armonicilor tensiunii redresate, notată cu U_{r6f} şi reprezentată în figura 4, prin curba *5*.

6. Determinarea raportului dintre componenta alternativă a tensiunii redresate din cazul în care redresorul debitează pe o sarcină oarecare şi cînd funcţionează în tampon cu o baterie de acumulatoare

a) $m = 2$ — redresoare monofazate în punte. Notînd cu $K2$ factorul de micşorare a componentei alternative a tensiunii redresate la funcţionarea în tampon, valoarea lui se obţine prin împărţirea expresiei U_{r2} la U_{r2f}, iar grafic prin împărţirea curbelor *1* şi *2* din figura 4.

$$K_2 = \frac{U_{r2}}{U_{r2f}} \quad (35)$$

K_2 s-a reprezentat grafic prin curba *3* din figura 4.

b) $m = 6$ — redresoare trifazate în punte. Similar:

$$K_6 = \frac{U_{r6}}{U_{r6f}} \quad (36)$$

Se obţine prin împărţirea relaţiilor U_{r6} la U_{r6f}, sau a curbelor *4* şi *5* din figura 4, şi s-a reprezentat grafic prin curba *6*.

Comparînd valorile obţinute din curbele *3* şi *6* din figura 4, se constată că ele sînt foarte apropiate ca mărime, micşorarea componentei alternative a tensiunii redresate la redresoarele trifazate în punte este mai pronunţată decît redresoarele monofazate în punte.

7. Determinarea raportului dintre curentul de vîrf şi curentul mediu redresat la funcţionarea în tampon a redresoarelor cu bateria de acumulatoare

Din relaţia (3) se obţine valoarea de vîrf a curentului redresat I_v la momentul $\omega t = 0$, adică pentru $\cos\omega t = 1$ se obţine:

$$I_v = \frac{U_m - E}{R} = \frac{U_m}{R}\left(1 - \frac{E}{U_m}\right) \quad (37)$$

Înlocuind raportul $\frac{E}{U_m}$ cu valoarea din relaţia (15) pentru redresoare monofazate în punte, se obţine:

$$I_v = \frac{U_m}{R}(1 - \sin\alpha_a), \quad (38)$$

iar pentru redresoare trifazate în punte, ţinînd seama de relaţia (17), rezultă:

$$I_v = \frac{U_m}{R}\left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right)\right] \quad (39)$$

Raportul curentului de vîrf către curentul mediu, redresat pentru redresoare monofazate în punte, se obţine din relaţiile (10), (18) şi (38).

$$\frac{I_v}{I_d} = \frac{1 - \sin\alpha_a}{\frac{2}{\pi}\left[\cos\alpha_a - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_a\right)\right]}, \quad (40)$$

iar pentru redresoare trifazate în punte, din relaţiile (10), (19) şi (39)

$$\frac{I_v}{I_d} = \frac{1-\cos\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right)}{\frac{6}{\pi}\left[\sin\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right) - \frac{E}{U_m}\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\alpha_a}{3}\right)\right]} \quad (41)$$

Valorile rapoartelor din (40) şi (41) pentru $\alpha_a = 0-90°$ sînt foarte apropiate, şi din această

cauză ambele relaţii s-au reprezentat prin aceeaşi curbă în figura 3 (curba 7). Scara valorilor relative $\frac{I_v}{I_d}$ este în dreapta diagramei.

grave atît asupra echipamentelor electroenergetice, cît şi în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, ca urmare a arderii siguranţelor generale ale bateriei de acumulatoare şi a nesemnalizării întreruperii lor.

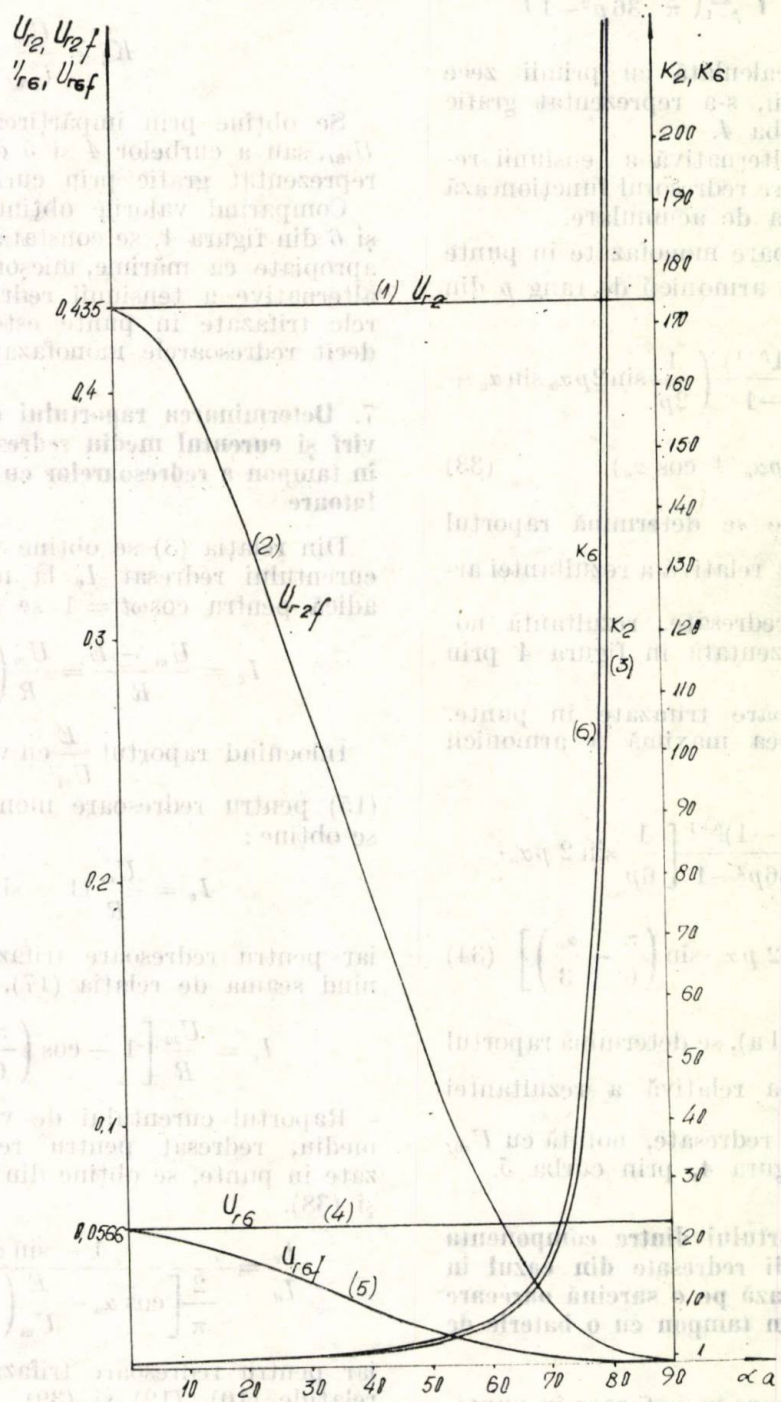


Fig. 4 Variaţia componentei alternative a tensiunii redresate raportate la valoarea maximă a acesteia şi a raportului K_2 şi K_6 funcţie de unghiul de aprindere α_a la redresoare mono şi trifazate în punte.

8. Rezultatele aplicării în practică a releului de supraveghere a surselor de curent continuu RSAS din staţiile electrice de transformare

În sistemul energetic naţional au avut loc mai multe extinderi de avarii cu consecinţe

Iniţial, releul RSAS a fost conceput pentru semnalizarea arderii siguranţelor generale ale bateriei de acumulatoare, dar în urma experimentării s-a constatat că el mai rezolvă, pe lîngă aceasta, şi următoarele probleme:

— semnalizează arderea siguranţelor de pe partea de curent continuu a redresorului;

— semnalizează întreruperea accidentală a alimentării în curent alternativ a redresorului;

— supraveghează menţinerea regimului de funcţionare în tampon a redresorului cu bateria de acumulatoare;

— semnalizează apariţia oricărei întreruperi în circuitul redresor — bateria de acumulatoare.

În instalaţiile IRE Suceava, releul RSAS s-a experimentat timp de doi ani în două staţii de transformare, şi, ca urmare a rezultatelor bune în funcţionare, s-a generalizat în toate staţiile existente din întreprindere, incluzîndu-se şi în toate documentaţiile tehnico-economice ale noilor staţii ce urmează să apară.

Releul RSAS constituie obiectul dosarului OSIM nr. 75669 din 31.07.1973 şi a fost acceptat ca invenţie în şedinţa OSIM din 30.06.1975 sub titlul „Metodă şi dispozitiv pentru supravegherea integrităţii circuitului redresor — bateria de acumulatoare la funcţionarea în tampon".

Economiile anuale ce se obţin prin utilizarea acestui releu (postcalculate prin compararea cu întreruptorul ISOL, modificat de IRE Deva) sînt de aproximativ 85 mii lei.

Concluzii

1. La funcţionarea în regim tampon a unui redresor cu o baterie de acumulatoare, expresiile tensiunii şi curentului redresat sînt diferite faţă de cazul în care redresorul debitează pe o rezistenţă oarecare.

2. Toate mărimile ce caracterizează fenomenul de redresare variază funcţie de unghiul de aprindere α_a; tensiunea medie redresată U_d şi tensiunea contraelectromotoare E cresc odată cu unghiul de aprindere, iar componenta continuă a curentului redresat, I_d, şi componenta alternativă a tensiunii redresate se micşorează cu creşterea unghiului de aprindere.

3. Unghiul de aprindere α_a variază aproximativ în limitele 45—77° pentru redresoare trifazate în punte şi circa 67—79° la redresoarele monofazate în punte (valorile mici sînt la încărcarea bateriei, iar valorile mari pentru cazul în care curentul de sarcină şi de încărcare sînt egali cu zero). La funcţionarea normală în sarcină, unghiul de aprindere se micşorează cu aproximativ 5—10° faţă de valorile maxime.

4. Componenta alternativă a tensiunii redresate se micşorează de maximum 60 de ori la redresoarele trifazate în punte şi de maximum 70 de ori la redresoarele monofazate în punte, faţă de cazul în care un redresor debitează pe o rezistenţă oarecare.

5. Curentul de vîrf este mai mare decît curentul mediu redresat, pentru limitele de variaţie ale unghiului de aprindere de aproximativ 2,5—10,5 ori pentru redresoare trifazate în punte şi de aproximativ 5—12 ori la redresoarele monofazate în punte.

6. Cunoaşterea valorii minime a componentei alternative a tensiunii redresate (corespunzătoare unghiului maxim de aprindere, α_{a0}) prezintă o deosebită importanţă, deoarece poate da o indicaţie preţioasă asupra integrităţii circuitului redresor — bateria de acumulatoare.

7. Pe baza componentei alternative minime a tensiunii redresate s-a proiectat releul de semnalizare a arderii siguranţelor surselor de curent continuu (RSAS).

Bibliografie

[1] * * * *Manualul inginerului electrician*, vol. III. Editura tehnică, Bucureşti, 1956.

[2] Clandescu, G. *Acumulatoare electrice*. Editura tehnică, Bucureşti, 1963.

(Articol intrat în redacţie la 22 mai 1977)

Mecanizarea lucrărilor de construcţii de linii electrice aeriene cu ajutorul elicopterului

Ing. A. Gârbacea

1. Consideraţii generale

Generaţia nouă de elicoptere a ajuns la un nivel ridicat de realizare constructivă şi performanţe tehnice, cu o siguranţă sporită în exploatare şi condiţii mai economice de utilizare în diverse domenii.

Trecînd în revistă tipurile de aparate care se află în prezent în exploatare, se remarcă marea varietate de tipuri constructive şi o gamă diversificată a sarcinilor de transport. În tabelul 1 sînt indicate cele mai reprezentative tipuri de elicoptere utilizate în prezent pe plan mondial, cu caracteristicile lor principale, care permit utilizarea lor atît ca mijloc de transport cît şi ca utilaj tehnologic în diverse domenii.

Dezvoltarea tehnică a permis introducerea acestui aparat ca mijloc eficient de mecanizare a lucrărilor de construcţii şi montaje în condiţii dificile de teren şi accesibilitate, specifice în special activităţii de construcţie a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, la

* Ing. Anton Gârbacea este director adjunct al Grupului de şantiere Electromontaj" — Banat.

Tabelul 1

Tipuri constructive de elicoptere şi caracteristici tehnice

Nr. crt.	Tipul elicopterului	Ţara producătoare	Capacitate transport pasageri		Caracteristici tehnice						
			nr. echipaj	nr. pasageri	Puterea (CP) şi nr. turbine	Masa, kg	Masa maximă la decolare, kg	Diametrul palelor rotorului m	Lungimea, m	Viteza max. la încărcare maximă km/h	Raza de acţiune km
1	IAR–316 B	R.S.R.	2	5	1×550	1 120	2 200	11,02	12,8	210	530
2	IAR–330	R.S.R.	2	18–20	2×1515	3 800	7 000	15,15	18,1	240	580
3	Aerospatiale S.A. 319 A-Alouette II	Franţa	1	6	1×870	1 140	2 250	11,02	12,8	220	605
4	Aerospatiale S.A. 330 F „PUMA"	Franţa	2	12–20	2×1590	3 430	6 700	15	18,1	260	590
5	Augusta A 109 A „Hirundo"	Italia	1	7	2×420	1 360	2 450	11	13,05	266	585
6	MBBBO 105	R.F.G.	1	4–7	2×400	1 120	2 300	9,8	11,8	270	575
7	MIL–MI–8 „Hip"	U.R.S.S.	2	28	2×1500	7 271	12 000	21,29	25,2	250	425
8	MIL–MI–10 „Harke"	U.R.S.S.	2	28	2×5500	27 300	43 700	35	41,8	180	250
9	MIL–MI–12 „Homer"	U.R.S.S.	6	50	4×6500	—	105 000	35	37	240	500
10	Bell–206 Long Ranger	S.U.A.	2	5	1×420	888	1 814	11,3	12,9	250	690
11	Bell–212 „Twin–Two–Twelve	S.U.A.	1	14	2×900	2 700	5 074	14,6	17,4	204	418
12	Boeing–VERTOL Model 179	S.U.A.	2	14–20	2×1500	4 223	8 480	14,9	16	295	595
13	Sikorsky–S–64 F „Skycrane"	S.U.A.	3	40	2×4800	8 724	19 050	21,9	26,9	169	370
14	Sikorsky–S–61 N	S.U.A.	3	28							
15	W.S.K.–MI 2	R.P.P.			2×1500	5 674	9 300	18,9	22,2	240	454
		U.R.S.S.	1	8	2×437	2 365	3 700	14,5	17,4	200	580

Tabelul 2

Variaţia sarcinii de transport funcţie de altitudinea de zbor

Înălţimea de zbor, m	Sarcina transportabilă, kg						
3048	158,7	364	136	907,2	2405	5450
2438	240	364	227	1230	2910	6250
1828	330	364	318	1450	3160	7150
1219	344	364	407	1770	3280	7600
610	364	364	453,7	1900	3400	8250
Tipuri de elicoptere	Hiller tip 12 G (S.U.A.)	Bell tip 47 G 3–B_2 (S.U.A.)	Alouette tip II (Franţa)	Bell tip 205 A–1 (S.U.A.)	Sikorsky tip S–61 L (S.U.A.)	Sikorsky tip S.64–E (S.U.A.)

Notă. Transformarea valorilor în sistem metric SI s-a făcut de către autor.

care elicopterele sînt folosite pentru următoarele operaţii :

— control şi intervenţii în exploatare, prospectare, proiectare, transporturi uşoare etc. ;

— lucrări de construcţii, prin utilizarea lor la transporturi şi montaje specifice, precum şi la execuţia operaţiilor tehnologice.

În prima categorie intră aparatele care au o sarcină portantă de maximum 1 000 kg, iar în cea de-a doua cele care depăşesc această sarcină şi care sînt capabile să execute o multitudine de operaţii tehnologice.

Nu s-au indicat în tabelul 1 unele caracteristici tehnice de detaliu necesare execuţiei lucrărilor de construcţii-montaj, şi anume : durata de zbor, turaţia turbinelor de propulsie, variaţia sarcinii de ridicare în funcţie de temperatura aerului, altitudine şi viteza vîntului, performanţele zborului staţionar etc., adică parametrii de navigaţie, acestea urmînd să fie tratate în capitolul rezervat experimentărilor realizate de Grupul de şantiere „Electromontaj"-Banat.

Aceşti factori cumulaţi contribuie de fapt la diminuarea sarcinii de transport a aparatelor, atît a sarcinii interioare, cît mai ales a sarcinii exterioare prinsă la cîrlig. Pentru a ilustra acest lucru, în tabelul 2 se redă variaţia sarcinii de transport la anumite tipuri de elicoptere în funcţie de altitudinea de zbor.

În articolul de faţă se arată rezultatele obţinute de Grupul de şantiere „Electromontaj"-Banat în mecanizarea lucrărilor prin folosirea elicopterului. Astfel se prezintă datele tehnice şi constructive ale aparatelor de zbor, modul de organizare a lucrului şi de utilizare în şantier, atît la transporturi, precum şi preocupările unităţii pentru integrarea acestuia în tehnologiile de lucru, în scopul măririi pro-

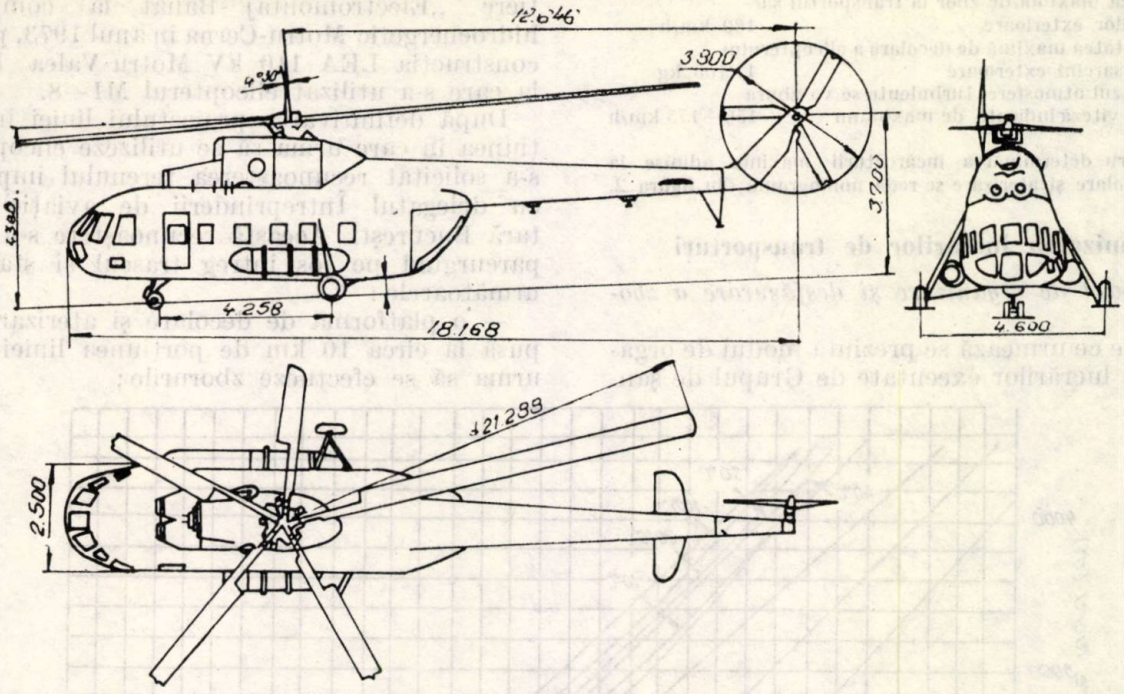


Fig. 1. Dimensiunile constructive ale elicopterului MI—8.

ductivității muncii, scurtării duratelor de execuție, reducerii efortului fizic al liniorilor, înlocuirii tractorului cu șenile cu elicopterul în zonele muntoase și foarte accidentate, unde tractoarele necesită realizarea unor lucrări costisitoare de drumuri de acces la borne, sau practic nu au acces.

2. Performanțele elicopterului MI-8

În activitatea de construcții a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune s-au utilizat, la transporturi ușoare, elicoptere de tip MI—4, import U.R.S.S., cu capacitate de ridicare de 1 000 kg. Din anul 1972 s-au procurat elicoptere cu capacitate sporită, de tip MI—8 (U.R.S.S.) care au permis lărgirea gamei de utilizare, precum și, folosind metode originale, integrarea acestuia în tehnologiile de lucru.

În figura 1 sînt redate dimensiunile constructive ale elicopterului tip MI—8, și anume:

- Viteza maximă :
  - cu greutate de decolare normală 230 km/h
  - cu greutate maximă de decolare 220 km/h
  - cu greutate suspendată de 2500 kg 180 km/h
- Viteza de cursă :
  - cu greutate de decolare normală 200 km/h
  - cu greutate de decolare sporită 180 km/h
- Plafonul de zbor 4500 m
- Autonomie de zbor — varianta marfă :
  - cu încărcătură de 2100 kg 450 km
  - cu încărcătură de 3000 kg 425 km
  - fără încărcătură 650 km
- Dimensiunile interioare ale aparatului :
  - lungime (podea utilă) 5,34 m
  - lățimea (podea utilă) 2,20 m
  - înălțimea 1,82 m
  - ușa laterală glisantă 1,405 × 0,825 m
- mărimea gurii de încărcare și descărcare la coada fuselajului 2,340 × 1,820 m
- Greutatea normală de zbor 11 100 kg
- Greutatea maximă de zbor 12 000 kg
- Greutatea proprie a aparatului gol 7 050 kg
- Consum mediu de carburanți 725 kg/h
- Sarcina admisă de transport exterior 2500—3000kg
- Zborul orizontal cu o greutate normală de zbor :

Înălțimea, m	Vitzea maximă după aparate, km/h	Viteza minimă după aparate, km/h
0 (sol)	230	0
500	230	60
1000	230	60
2000	210	60
3000	175	60
4000	150	75
4500	130	100

Zborurile la înălțimi mai mici de 10 m se vor executa pînă la viteza de 20 km/h, pînă ce se ajunge la regim de trepidaj, avînd în vedere viteza și direcția vîntului.

- Zborul orizontal cu încărcătură maximă de decolare :

Înălțimea, m	Viteza maximă după aparate, km/h	Viteza minimă după aparate, km/h
0 (sol)	220	0
500	220	60
1000	210	60
2000	188	60
3000	155	60
4000	120	90

- Decolarea și aterizarea elicopterului sînt permise a se executa la următoarele direcții și intensități ale vîntului :

Direcția vîntului	Intensitatea vîntului, m/s	
	înainte de pornirea și rotirea elicei	la decolare și aterizare
Față	20	20
Lateral	10	10
Spate	8	5

— Viteza maximă de zbor la transportul sarcinilor exterioare 180 km/h
— Greutatea maximă de decolare a elicopterului cu sarcini exterioare 11 100 kg
— În cazul atmosferei turbulente se va zbura la o viteză indicată de maximum 150—175 km/h

— Pentru determinarea încărcăturii maxime admise la decolare și aterizare se redă nomograma din figura 2.

3. Mecanizarea lucrărilor de transporturi

3.1. *Modul de organizare și desfășurare a zborurilor*

În cele ce urmează se prezintă modul de organizare a lucrărilor executate de Grupul de șantiere „Electromontaj"-Banat la complexul hidroenergetic Motru-Cerna în anul 1973, pentru construcția LEA 110 kV Motru-Valea Largă, la care s-a utilizat elicopterul MI—8.

După definitivarea proiectului liniei în porțiunea în care urma să se utilizeze elicopterul, s-a solicitat recunoașterea terenului împreună cu delegatul Întreprinderii de aviație utilitară București. Această recunoaștere s-a făcut parcurgînd pe jos întreg traseul și stabilind următoarele:

— o platformă de decolare și aterizare dispusă la circa 10 km de porțiunea liniei unde urma să se efectueze zborurile;

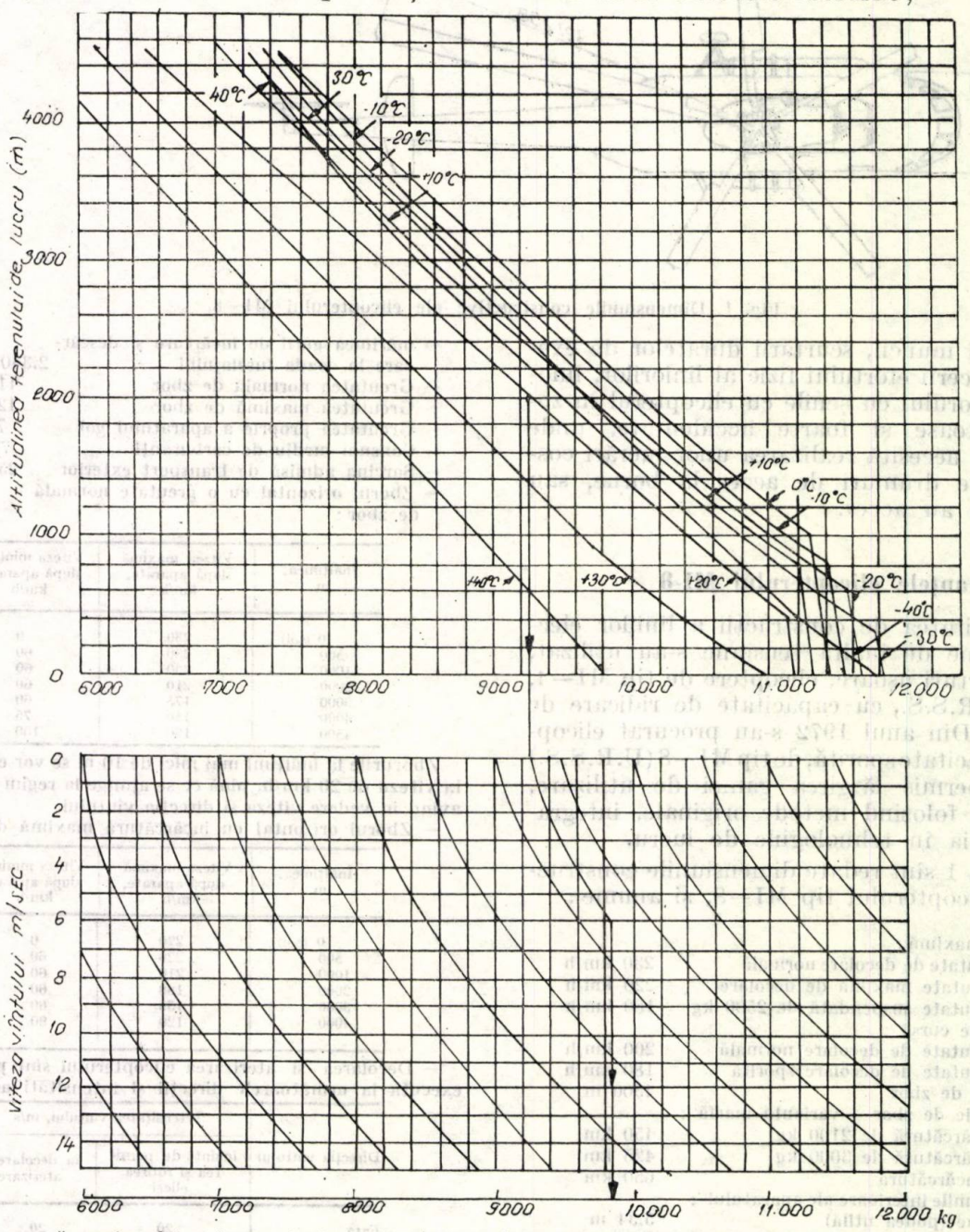


Fig. 2. Nomogramă pentru determinarea încărcăturii maxime admise la decolare și aterizare fără influența solului la elicopterul MI—8.

Greutatea elicopterului gol: 7050 kg; greutatea echipajului: 3 × 80= 240kg; greutatea uleiului: 63 kg; consumul mediu orar de combustibil: 725 kg. Încărcătura comercială și cantitatea de combustibil sînt variabile, funcție de misiune.

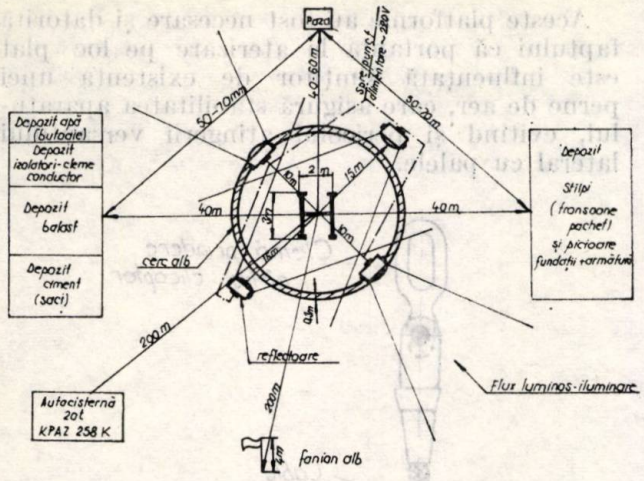


Fig. 3. Platformă de decolare și aterizare a elicopterului MI—8.

— două platforme de refugiu ;

— două platforme de depozitare a materialelor amplasate lîngă platforma de decolare.

Platforma de decolare, arătată în figurile 3 și 9, este prevăzută cu un cerc alb ($R = 15$ m) marcat pe iarbă, în interiorul căruia s-a vopsit un H, cu dimensiunile arătate în figură, pentru vizibilitatea locului la aterizarea aparatului. În marginea cercului s-au dispus patru reflectoare pentru iluminatul aparatului în timpul nopții.

Lateral, pe ambele părți ale periferiei cercului, la distanța de 40 m, au fost amplasate depozitele de materiale și agregate, conform figurii.

La o distanță de circa 200 m s-a parcat autocisterna KRAZ 258 K, cu o capacitate de 20 t, care a servit la alimentarea cu combustibil a elicopterului.

Platformele de refugiu s-au amenajat pe traseu pe locuri plate, sub formă de cerc, cu o rază de 15 m, avînd excentric un fanion alb și servind numai în caz de defecțiune a elicopterului la efectuarea transportului, fiind amplasate, față de platforma de bază, la distanțele de 6,3 km și 13,2 km, deoarece relieful a fost împădurit și foarte accidentat.

Platforma de depozitare *A*, prevăzută în figura 3, a servit la depozitarea stîlpilor metalici, a picioarelor de fundații și a armăturilor necesare fundațiilor, toate aceste confecții fiind depozitate ca în figura 4, pe tipuri de stîlpi și la greutatea de maximum 2 300 kg, în conformitate cu solicitările echipajului, greutăți care sînt mai mici decît cele stabilite în datele tehnice ale elicopterului MI—8.

Pe platforma *B* s-au depozitat : balastul, tamburele de conductoare, clemele, armăturile și izolatoarele, butoaiele cu apă necesare preparării betoanelor, cimentul în saci, toate acestea dispuse în barăci metalice.

Materialele depozitate au avut următoarele greutăți (în tone) :

— stîlpi metalici	41,45
— balast	343
— ciment	32,5
— cleme, armături, izolatoare	6
— conductoare 185 mm²	6
— armături fundații	1,5
— picioare fundații	2,3
— cofraje + diverse	1,5
— scule și tachelaje montaj	6
— apă	8
Total	448,25

3.2. *Organizarea și dotarea echipelor*

În scopul desfășurării operațiilor de transport la bornă în mod corespunzător, au fost făcute

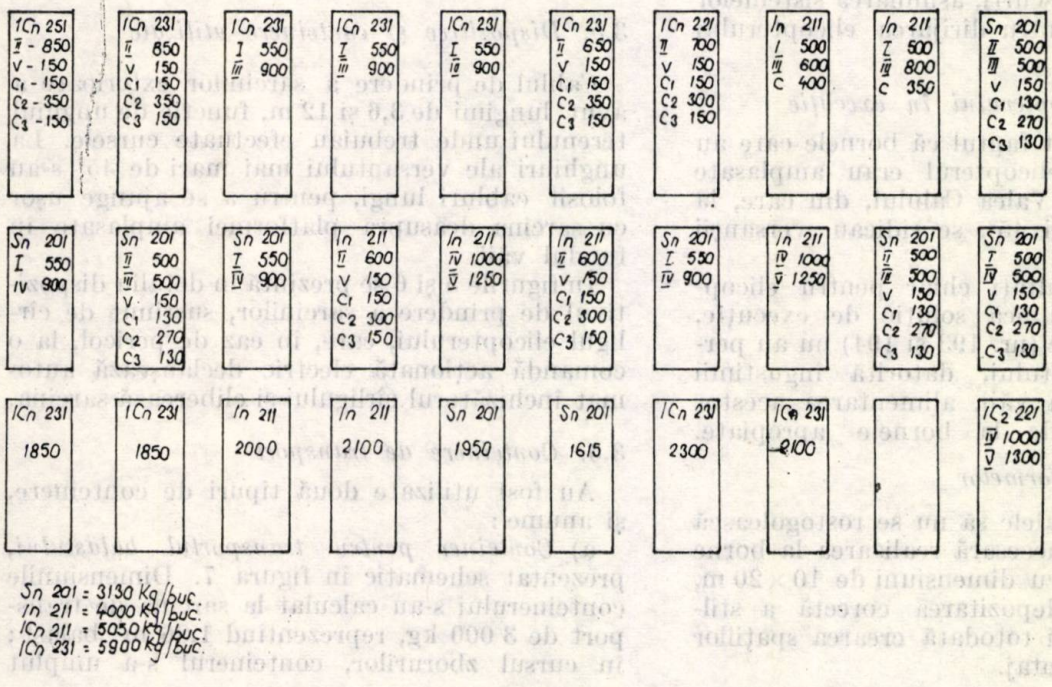


Fig. 4. Dispunerea stîlpilor pregătiți în pachete pentru elicopter.

lucrări pregătitoare, dintre care se menționează:

— cazarea echipelor de muncitori în barăci mobile la o distanță care să se parcurgă în circa 20 de minute mers pe jos de la locul de cazare pînă la bornele traseului în care se desfășura activitatea cu elicopterul, pentru a se elimina transportul zilnic al muncitorilor cu elicopterul, la și de la locul de muncă;

— dotarea personalului tehnico-inginerese și muncitoresc cu aparate de radio emisie-recepție, de tipul VXW Tesla, cu raza de acțiune de 25 km, asigurîndu-se la sol un sistem de legături bine pus la punct între echipele de la locurile de descărcare la diferite borne, echipa de încărcare și legare a sarcinilor, cu coordonatorul principal al zborurilor, care dirija echipajul în efectuarea curselor, precum și personalul de execuție;

— încărcarea mecanizată a balastului în conteinere cu ajutorul autoîncărcătorului de tip HON—51 (R.S.C.), pentru a se scurta timpii de încărcare și a permite un flux continuu al transporturilor în timp relativ scurt;

— dotarea echipelor de descărcare cu materiale fumigene care să permită echipajului depistarea curenților de aer ascensionali și turbionari în atmosferă;

— executarea defrișărilor necesare în plus față de culoarele tehnologice ale liniei, pentru crearea spațiilor necesare securității zborurilor;

— instruirea personalului muncitoresc asupra detaliilor programelor de zbor, dotarea cu material de protecție adecvat (mănuși și cizme dielectrice, ochelari de protecție), însușirea și cunoașterea mînuirii dispozitivelor și tachelajelor utilizate cu experimentări practice de manevrare în timpi scurți, asimilarea sistemelor de semnalizare pentru dirijarea elicopterului etc.

3.3. *Utilizarea elicopterului în execuție*

Trebuie menționat faptul că bornele care au fost realizate cu elicopterul erau amplasate pe valea denumită Valea Calului, din care, la unghiuri între 35 și 45°, se ridicau versanții laterali.

Au existat dificultăți chiar pentru elicopterul destinat ca unică soluție de execuție, deoarece două borne (nr. 193 și 194) nu au permis accesul aparatului, datorită îngustimii și adîncimii mari a văii, alimentarea acestor borne făcîndu-se de la bornele apropiate.

3.4. *Realizarea platformelor*

Pentru ca materialele să nu se rostogolească pe versant, a fost necesară realizarea la borne a unor platforme cu dimensiuni de 10×20 m, care să permită depozitarea corectă a stîlpilor și balastului și totodată crearea spațiilor tehnologice de montaj.

Aceste platforme au fost necesare și datorită faptului că portanța la aterizare pe loc plat este influențată simțitor de existența unei perne de aer, care asigură stabilitatea aparatului, evitînd și pericolul atingerii versantului lateral cu palele.

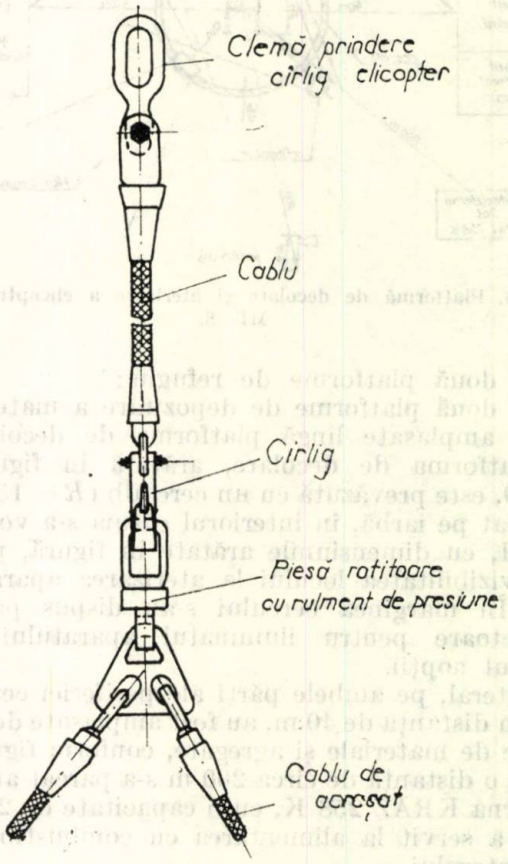


Fig. 5. Dispozitiv de prindere a sarcinilor exterioare.

3.5. *Dispozitive și conteinere utilizate*

Cablul de prindere a sarcinilor exterioare a avut lungimi de 3,6 și 12 m, funcție de unghiul terenului unde trebuiau efectuate cursele. La unghiuri ale versantului mai mari de 45° s-au folosit cabluri lungi, pentru a se ajunge ușor cu sarcina deasupra platformei amplasate în fundul văii.

În figurile 5 și 6 se prezintă în detaliu dispozitivul de prindere a sarcinilor, susținut de cîrligul elicopterului, care, în caz de pericol, la o comandă acționată electric declanșează automat închizătorul cîrligului și eliberează sarcina.

3.6. *Conteinere de transport*

Au fost utilizate două tipuri de conteinere, și anume:

a) *Conteiner pentru transportul balastului*, prezentat schematic în figura 7. Dimensiunile conteinerului s-au calculat la sarcina de transport de 3 000 kg, reprezentînd 1,86 m³ balast; în cursul zborurilor, conteinerul s-a umplut

cu max. 1 m³, deoarece elicopterul nu putea transporta o cantitate mai mare.

Din figura 7 rezultă că pe fundul conteinerului s-a prins un cablu de răsturnare cu sec-

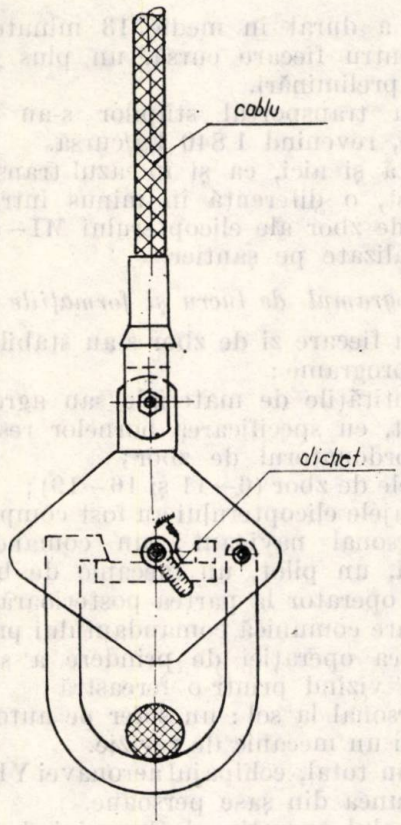


Fig. 6. Carabină de prindere a sarcinii de dispozitivul de prindere.

țiunea de 17 mm, care servește la descărcarea conteinerului la bornă, și apoi, în poziție răsturnat, în zbor, se readuce la platforma de balast pentru reîncărcare.

Prinderea de la locul de încărcare s-a făcut cu ajutorul dispozitivului din figura 5, direct la urechile de prindere sudate pe partea superioară a conteinerului.

Calculul numărului de conteinere s-a efectuat ținînd seama că distanța medie de transport a fost de 10,7 km; calculul este redat în tabelul 3.

Pentru încărcarea unui conteiner cu ajutorul autoîncărcătorului HON—51 au fost necesare circa 3 minute. Au rezultat ca necesare trei conteinere pentru un flux continuu de zbor, din care un conteiner de rezervă.

În tabelul 3 sînt analizate duratele de zbor, rezultînd, față de preliminări, o diferență în plus de 215 s/cursă, ca urmare a vitezelor reale de zbor ale elicopterului MI—8, care nu corespund întru totul celor din cartea tehnică a aparatului, și anume:

— la transpotul cu conteinerul plin cu balast, datorită tangajului imprimat de acesta, s-au realizat viteze în medie de numai 120 km/oră,

Tabelul 3

Nr. crt.	Denumirea operației	Timpi de lucru, s	
		evaluări preliminare	efectiv
1	Prinderea conteinerului	60	60
2	Ridicarea pe verticală cu sarcină acroșată	30	30
3	Transportarea sarcinii	190	325
4	Coborîrea sarcinii	30	30
5	Desprinderea sarcinii	60	85
6	Ridicarea pe verticală în gol	30	30
7	Deplasarea pînă la locul de încărcare	170	250
8	Coborîrea fără sarcină	30	30
	Total ciclu de lucru	600	840

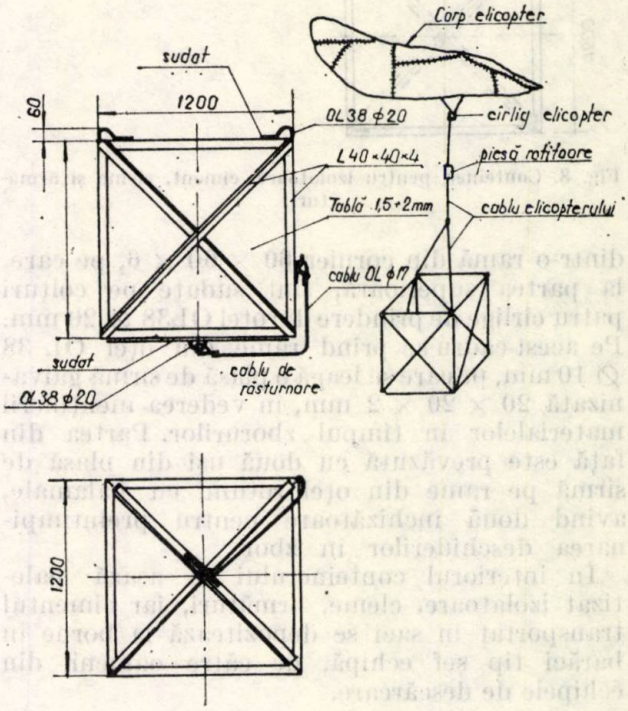


Fig. 7. Conteiner pentru balast.

cu o abatere substanțială față de viteza omologată și cu toate că sarcina de transport a fost simțitor diminuată;

— la transportul cu conteinerul gol de balast, viteza maximă a fost de 140 km/oră, deoarece conteinerul gol are tendința în zbor de rămînere în urmă, neavînd decît greutatea proprie, iar în cazul unor viteze mai mari exista pericolul iminent de atingere a conteinerului cu elicea anticuplu sau a fuselajului, putînd provoca avarii.

Cantitatea de 343 t balast a fost transportată în 155 curse de zbor, rezultînd pe o cursă în medie 2212 kg. Din această greutate, scăzînd greutatea conteinerului, de 80 kg, rezultă 2132 kg/cursă.

b) *Conteinere pentru izolatoare, ciment, cleme și armături.* Conteinerul utilizat în scopul realizării acestor transporturi este redat în figura 8. Din figură reiese că el este confecționat

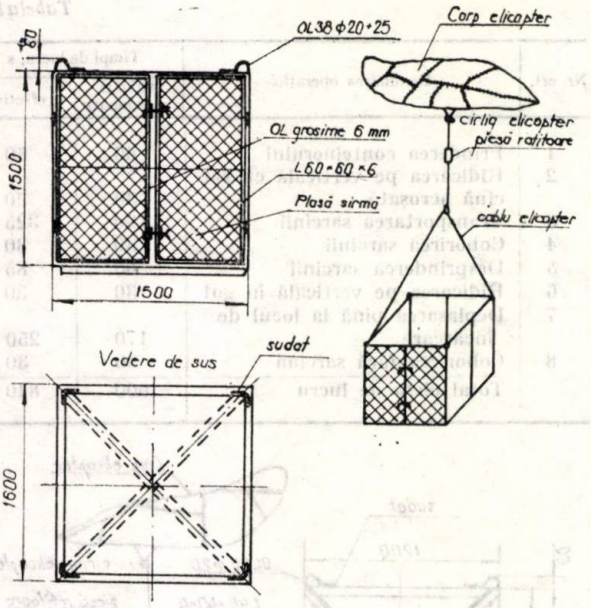


Fig. 8. Conteiner pentru izolatoare, ciment, cleme și armături.

dintr-o ramă din cornier 60 × 60 × 6, pe care, la partea superioară, sînt sudate pe colțuri patru cîrlige de prindere din oțel OL38 ∅ 20 mm. Pe acest cadru se prind rame din oțel OL 38 ∅ 10 mm, pe care se leagă o plasă de sîrmă galvanizată 20 × 20 × 2 mm, în vederea menținerii materialelor în timpul zborurilor. Partea din față este prevăzută cu două uși din plasă de sîrmă pe rame din oțel rotund cu balamale, avînd două închizătoare pentru preîntîmpinarea deschiderilor în zbor.

În interiorul conteinerului se așază paletizat izolatoare, cleme, armături, iar cimentul transportat în saci se depozitează la borne în barăci tip șef echipă, de către oamenii din echipele de descărcare.

3.7. *Transportul pachetelor de stîlpi metalici*

Stîlpii metalici, după cum rezultă din figura 4, au fost pregătiți pe tipuri constructive și greutăți. Pachetele încorporau picioarele de fundații și armăturile necesare fiecărui tip de stîlp.

Fiecare pachet s-a legat cu cîte două legături de sarcină confecționate in cablu de oțel cu secțiunea ∅17 mm, care a avut, fiecare la un singur capăt, o piesă specială confecționată din oțel, care, prin intermediul unui bolț cu dublă siguranță, rigidizează cablul de prindere de pachet în așa fel încît, la orice fel de mișcare, în timpul zborului, să nu permită desfacerea.

S-au executat patru garnituri de asemenea legături de sarcină, care se prindeau apoi de dispozitivul de prindere a sarcinii, redat în figurile 5 și 6, efectuîndu-se astfel transportul pachetului de stîlpi.

Constatările din subcapitolele anterioare sînt valabile și la transportul pachetului de stîlpi.

S-au transportat în total:

— stîlpi metalici	41,45 t
— armături fundații	1,5 t
— picioare fundații	2,5 t
Total	45,25 t

Cursa a durat în medie 13 minute, rezultînd, pentru fiecare cursă, un plus de 55 s față de preliminări.

Pentru transportul stîlpilor s-au efectuat 26 curse, revenind 1 840 kg/cursă.

Rezultă și aici, ca și în cazul transportului de balast, o diferență în minus între datele tehnice de zbor ale elicopterului MI—8 și cele reale realizate pe șantier.

3.8. *Programul de lucru și formațiile utilizate*

Pentru fiecare zi de zbor s-au stabilit următoarele programe:

— cantitățile de materiale sau agregate de transport, cu specificarea bornelor respective;

— coordonatorul de zbor;

— orele de zbor (6—11 și 16—19);

Echipajele elicopterului au fost compuse din:

— personal navigant: un comandant de aeronavă, un pilot, un mecanic de bord, un mecanic operator la partea posterioară a aeronavei, care comunică comandantului prin radio terminarea operației de prindere a sarcinilor la cîrlig, vizînd printr-o fereastră;

— personal la sol: un șofer pe autocisternă KRAZ și un mecanic de revizie.

Deci, în total, echipajul aeronavei YR—EVB se compunea din șase persoane.

Personalul operativ al Grupului de șantiere „Electromontaj"-Banat afectat operațiilor de zbor cu elicopterul, a fost compus din:

— la încărcare: un șef de echipă și trei muncitori, dintre care unul deservent pe HON;

— la descărcare: un șef de echipă și trei muncitori.

Pe lîngă aceste formații, pentru crearea platformelor, defrișărilor etc., s-a utilizat o echipă de zece oameni timp de șapte zile. În plus, au existat trei oameni de pază.

Scăderea efectivelor operative s-a datorat prezenței pe elicopter a mecanicului-operator, datorită căruia nu a mai fost necesară prezența oamenilor cu fanioane de semnalizare la sol.

Condițiile meteorologice a dus la întreruperi ale zborurilor temporar sau total în anumite zile, împiedicînd în acest mod realizarea programelor stabilite anticipat și necesitînd modificări în funcție de aceste condiții.

Legătura radio a asigurat operativitate și elasticitate în modificarea programelor de lucru ale echipelor, corelate cu activitatea elicopterului.

4. Utilizarea elicopterului în tehnologiile de lucru

Pe baza experienței acumulate în utilizarea elicopterului la operațiile de transporturi ale

Fig. 9. Platforme de decolare și aterizare.

liniilor electrice aeriene, în zone muntoase, s-a căutat să se utilizeze acest aparat și în tehnologiile de lucru, atît la lucrări de infrastructură, cît și la montarea stîlpilor.

Începutul a fost dificil, necesitînd întocmirea de noi instrucțiuni tehnologice specifice, instruirea personalului în scopul cunoașterii și aplicării corecte a acestora, crearea de noi dispozitive, încercări în poligon și apoi execuția propriu-zisă.

La LEA 35 kV Ruşchița — Dealul lui Ionel, de exemplu, unde traseul liniei avea pante de circa 30—40°, utilizarea elicopterului a permis obținerea următoarelor rezultate :

— realizarea punerii în funcțiune în două luni, față de zece luni durata normată, și 98 000 lei economii.

La această lucrare s-a folosit elicopterul la următoarele tehnologii noi :

— turnarea betonului în fundații, cu bene speciale ;

— montarea stîlpilor de susținere, asamblați și vopsiți, în poziție verticală ;

— transportul în poziție orizontală al stîlpilor speciali, gata asamblați și vopsiți, la bornele liniei.

Tehnologiile aplicate au constituit premiere pe țară și au creat premisele realizării de noi procese tehnologice folosind elicopterul, ca, spre exemplu : clădirea stîlpilor speciali, montarea conductoarelor active ș.a.

4.1. *Modul de organizare a lucrărilor de infrastructură*

În figura 10 se prezintă organizarea platformei de preparare a betoanelor, pentru fundații la LEA 35—400 kV, dotarea necesară, precum și modul de depozitare a materialelor pe platformă.

De pe această platformă se transportă cu elicopterul conteinerele speciale conținînd: armăturile pentru picioarele de fundații gata confecționate, paletele cu scule și accesorii, picioarele de fundații, cofrajele etc.

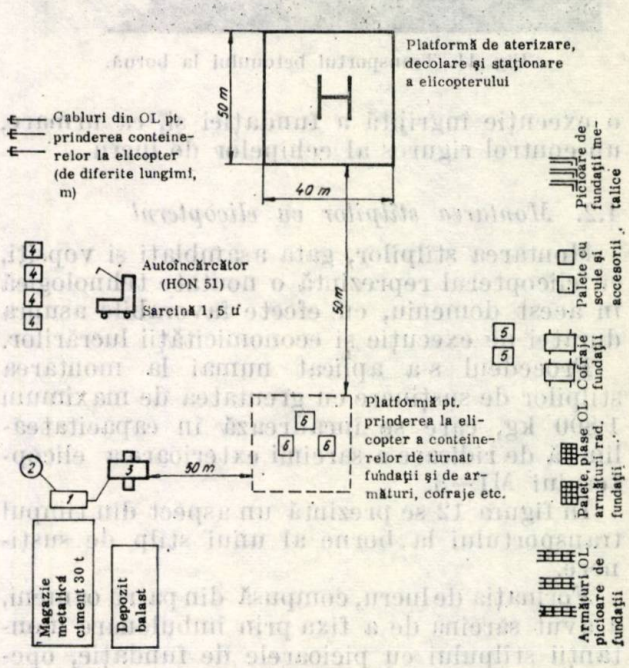


Fig. 10. Organizarea platformei de staționare a elicopterului și de preparare a betoanelor :

1—rezervor metalic pentru apă ; 2— motopompă (puț forat) ; 3 — motobetonieră cu cădere liberă ; 4—conteinere cu clapetă pentru transportul betonului de la motobetonieră în conteinere speciale de turnare ale elicopterului ; 5 — conteinere pentru transportul armăturilor, cofrajelor, paletelor cu scule etc. ; 6—conteinere de 1m³ beton speciale pentru turnarea fundațiilor direct cu elicopterul.

Transportul betonului la borne se face cu ajutorul unor conteinere prevăzute cu clapete de descărcare.

În figura 11 se redă un aspect al transportului betonului la borne.

Se menționează că pentru montarea stîlpului în poziție verticală cu elicopterul se cere

Fig. 11. Transportul betonului la bornă.

o execuţie îngrijită a fundaţiei şi, ca urmare, un control riguros al echipelor de lucru.

4.2. *Montarea stîlpilor cu elicopternl*

Montarea stîlpilor, gata asamblaţi şi vopsiţi, cu elicopterul reprezintă o noutate tehnologică în acest domeniu, cu efecte favorabile asupra duratei de execuţie şi economicităţii lucrărilor.

Procedeul s-a aplicat numai la montarea stîlpilor de susţinere cu greutatea de maximum 1 800 kg, care se încadrează în capacitatea-limită de ridicare a sarcinii exterioare a elicopterului MI—8.

În figura 12 se prezintă un aspect din timpul transportului la borne al unui stîlp de susţinere.

Formaţia de lucru, compusă din patru oameni, a avut sarcina de a fixa prin îmbulonare montanţii stîlpului cu picioarele de fundaţie, operaţie care a durat circa 2 min şi a fost executată în condiţii de deplină securitate.

Transportul stîlpilor speciali la borne, gata asamblaţi şi vopsiţi, s-a făcut în poziţie orizontală, aşa cum se arată în figura 13, ridicarea făcîndu-se prin basculare, cu trolii acţionate manual.

S-a recurs la această metodă de transport deoarece elicopterul nu a avut capacitatea de ridicare, prin staţionare la punct fix, a sarcinii necesare de circa 2 500 kg (greutatea stîlpilor speciali), şi, în consecinţă, s-a efectuat numai transportul stîlpului special la borne. Normal, în cazul în care se dispune de elicoptere cu capacitatea sarcinii de transport exterior de 3 000 kg, se poate executa uşor montarea stîlpilor speciali direct în poziţie verticală, aşa cum s-a procedat cu stîlpii de susţinere.

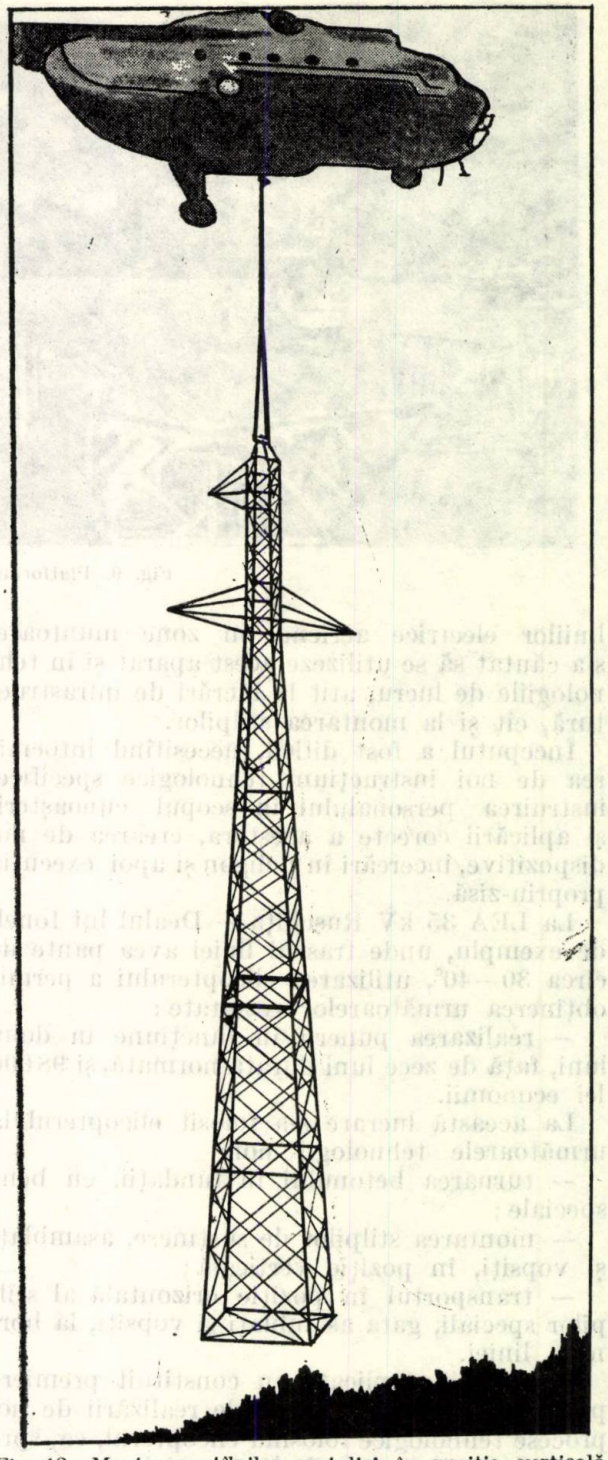


Fig. 12. Montarea stîlpilor metalici în poziţie verticală.

Trebuie subliniat că, în prealabil, s-au făcut încercări pentru respectarea normelor ISCIR şi verificarea tachelajului de ridicare.

Formaţia de lucru a fost compusă din şase muncitori, dintre care patru erau utilizaţi pe

Fig. 13. Transportul unei stîlp special în poziţie orizontală.

platforma de decolare, la pregătirea şi prinderea stîlpului la cîrligul elicopterului, şi doi la borna stîlpului, pentru dezlegarea cablurilor de tachelaj.

Concluzii

1. În zborurile realizate cu elicopterul MI—8, prin utilizarea sa numai cu sarcini exterioare, media de transport a fost de 2 300 kg/cursă, faţă de 2 500—3 000 kg, cît este prevăzut în cartea tehnică a elicopterului.

În cazul liniei de 110 kV Cerna-Motru s-au înregistrat următorii coeficienţi de utilizare a capacităţii de transport :

Operaţia	Coeficient de utilizare a capacităţii elicopterului, %	
	max. 2500, kg	max. 3000 kg
Transport balast	88,4	63,7
Transport stîlpi	73,6	60,1
Total transporturi necesare	78,5	61,3

2. Pe lîngă avantajele importante pe care acest aparat le conferă execuţiei lucrărilor în teren greu accesibil, şi anume : reducerea duratelor de execuţie şi creşterea productivităţii muncii, la lucrările LEA 35 kV Ruşchiţa-Dealul lui Ionel, prin utilizarea elicopterului în tehnologiile de lucru, s-au obţinut următoarele rezultate :

— reducerea duratei de execuţie cu 8 luni faţă de durata normată ;

— economii de 98 000 lei faţă de valoarea lucrării prevăzută iniţial a fi realizată cu tractoare pe şenile ;

— reducerea corespunzătoare a cheltuielilor de regie ca urmare a scurtării duratei de execuţie ;

— reducerea cheltuielilor de executare a drumurilor de acces la borne.

3. Necesitatea extinderii utilizării elicopterului, pe lîngă zonele muntoase accidentate, şi în zone deluroase sau chiar de şes, datorită vitezelor mari de execuţie realizate, reducerii simţitoare a porţiunilor din terenurile agricole ce se scot din circuitul agricol productiv temporar, pentru culoare tehnologice de transport, execuţie LEA ş.a.

4. Aplicarea de tehnologii care să integreze intensiv acest aparat de zbor în mecanizarea lucrărilor de construcţii LEA, elaborarea de fişe tehnologice adecvate, care să prevadă extinderea gamei de folosire a acestora, în special la :

— montarea stîlpilor direct în poziţia verticală, gata asamblaţi, vopsiţi şi cu izolatoarele montate ;

— montarea de picioare prefabricate pentru fundaţii întregi sau modulate, sau turnarea betonului direct cu bene speciale ;

— clădirea stîlpilor speciali cu elicopterul ;

— montarea conductoarelor active şi de protecţie cu ajutorul instalaţiilor existente, de tragere mecanizată sub tracţiune controlată prin fir-pilot, acţionat de elicopter ;

— montarea stîlpilor de beton de 20 kV în zone grele, muntoase.

În scopul realizării acestor performanţe, sînt necesare următoarele măsuri :

— lărgirea parcului de elicoptere la dispoziţia Ministerului Energiei Electrice şi a Trustului „Electromontaj" cu elicoptere indigene tip IAR 330 şi un elicopter tip MIL—MI—10 „Harke" (U.R.S.S.), care să aibă sarcini exterioare sporite, pentru extinderea utilizării elicopterului în operaţiile tehnologice ;

— modificări constructive ale elementelor constitutive ale LEA (stîlpi metalici, fundaţii

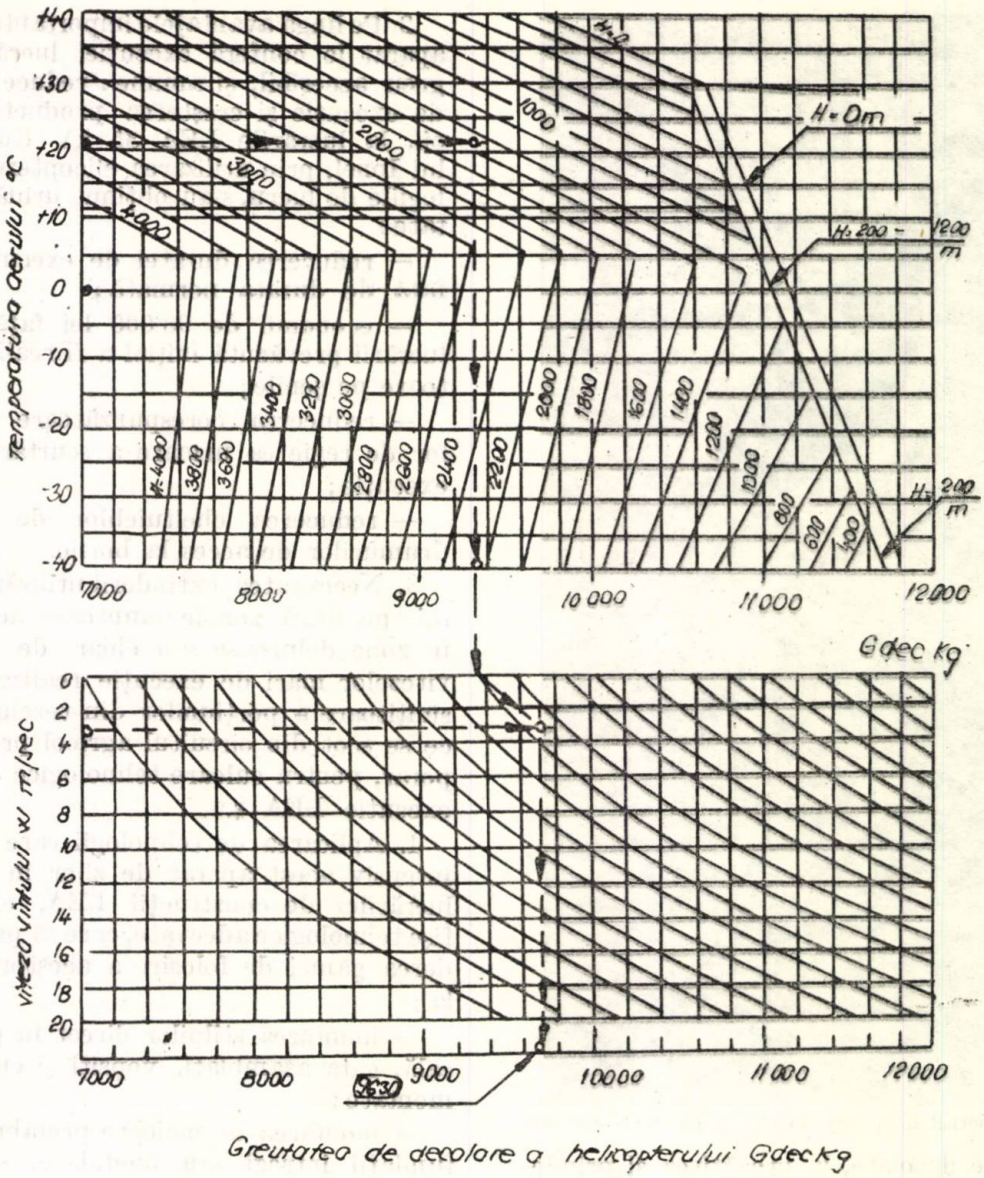


Fig. 14. Nomogramă pentru determinarea greutății de decolare, fără influența pernei de aer, la elicopterul MI—8.
Exemplu: t_{aer}; H^{760} = 1500 m; w = 3 m/s; $G_{dec} = G_{at.}$ = 9630 kg.

etc.) pentru adaptarea acestora la utilizarea elicopterului.

Pe baza experienței acumulate de Grupul de șantiere „Electromontaj"-Banat și a altor specialiști din Ministerul Energiei Electrice, utilizarea elicopterului la lucrările de construcții-montaj a liniilor electrice aeriene va deveni un mijloc mai eficient în scurtarea duratelor de execuție și de creștere a productivității muncii în acest domeniu de activitate.

Bibliografie

[1] * * * *Aviation 1977*. În: Science et vie, nr. 5, 1977.
[2] * * * *Evergreen helicopters of Alaska*. Anchorage, S.U.A., 1975.

(Articol intrat în redacție la 30 septembrie 1977)

Încercarea manșoanelor și a cutiilor terminale ale cablurilor electrice de forță cu ajutorul radiațiilor Röntgen

Ing. D. Gavrilă*)

Această metodă de încercare are drept scop detectarea unor defecte de execuție a manșoanelor și cutiilor terminale ale cablurilor electrice de joasă, medie și înaltă tensiune, greu identificabile prin încercările cu tensiune continuă sau alternativă. Defectele aparente, neînsemnate la început, pot provoca cu timpul avarii grave, soldate cu întreruperi în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Astfel, de exemplu, sînt defectele de discontinuitate ca : întreruperile de fază, golurile la turnarea masei electroizolante.

Pentru a identifica astfel de defecte se poate utiliza proprietatea razelor Röntgen de a putea traversa corpurile opace și metalele, precum și aceea de a impresiona o placă fotografică (sau film).

Pentru examinarea unui ansamblu sau a unui montaj, se folosesc utilaje similare celor de la controlul sudurii.

Filmul este intercalat între două ecrane de plumb, cu partea metalică spre film. Ansamblul este pus într-un suport de film, care se montează apoi în spatele izolatorului de porțelan al cutiei terminale sau în spatele manșonului.

Aparatul pentru producerea radiațiilor se așază în așa fel încît între tubul Röntgen și film să fie o distanță de 40—50 cm.

Timpul de expunere a plăcii sau a filmului la razele Röntgen este funcție de distanța și de sensibilitatea filmului, precum și de grosimea ansamblului de cercetat. Developarea se face în laborator prin procedeele obișnuite.

După developarea filmului, defectele vor fi descoperite prin diferențele de luminozitate ce există la străbaterea obiectului. În locurile unde sînt defecte, pătrunderea razelor Röntgen este mai ușoară, astfel că acea parte a plăcii va fi mai impresionată, deci culoarea va fi mai închisă.

Defecte puse în evidență cu ajutorul radiațiilor Röntgen

Metoda pune în evidență în special golurile ce pot să apară în interiorul manșoanelor sau al cutiilor terminale ca rezultat al contracției masei electroizolante. Acest gen de defecte rămîn de obicei neidentificate la încercarea cu tensiune continuă, efectuată imediat după executarea manșoanelor sau a cutiilor terminale. Unele din aceste goluri conduc la avarii grave, după un anumit timp de la punerea în funcțiune a cablului, în special în cazul în care în ele pătrunde umiditatea.

Cu ajutorul acestei metode mai pot fi scoase în evidență și alte greșeli de montaj ale manșoanelor și cutiilor terminale, ca :

— utilizarea unor materiale nepotrivite ;

— asamblarea greșită a manșoanelor și a cutiilor terminale ;

— îmbinări mecanice strînse incorect ;

— aplicarea incorectă a benzilor de ecranare.

Ca un exemplu de detectare a unor deteriorări greu detectabile pe alte căi, se citează cazul unui cablu trifazat cu armătura ruptă după 6 luni de la punerea în funcțiune [1]. Deși faptul părea grav (se punea problema refacerii integrale a manșonului respectiv lîngă care se rupsese armătura), analiza făcută cu ajutorul radiațiilor Röntgen a arătat că conductoarele nu au suferit nici o deplasare în manșon și că izolația în jurul îmbinării nu a suferit deformări serioase. Rezultatele au fost confirmate în exploatare, deoarece după înfășurarea porțiunii de cablu pe care se rupsese armătura, cu banda izolatoare rezistentă la intemperii, cablul a funcționat în continuare în condiții bune.

Măsuri speciale de protecție a muncii

Pentru securitatea celor care efectuează încercările, fiecare membru al echipei trebuie să aibă un dozimetru, care permite citirea ușoară, în orice moment în timpul lucrului, a dozei totale de radiații absorbite. În timpul lucrului, problemele de protecție a muncii se rezolvă ușor, deoarece orice zid de cărămidă sau de piatră prezintă o protecție suficientă, lucru ce se poate verifica în prealabil.

În mod normal, între pupitrul de comandă și cutia terminală sau manșonul verificat este o distanță suficient de mare, mașina-laborator cu care se fac probele fiind prevăzută cu un cablu de lungime corespunzătoare.

Concluzii

În S.U.A. această metodă a fost experimentată și pusă la punct de firma Du Pont și a dat rezultate bune.

Utilizarea acestei metode are și un mare efect psihologic asupra celor care execută manșoane și cutii terminale. În urma analizei radiografiilor cu acest personal și a studierii defectelor de execuție, se poate ajunge la o îmbunătățire a execuției montajului manșoanelor și cutiilor terminale.

Avînd în vedere rezultatele bune obținute în țările în care s-a utilizat, se consideră oportună introducerea acestei metode de încercare și în țara noastră.

Bibliografie

[1] Bournais, T. L. *Test potbands and cables by X-ray.* În : Power Eng. 105, nr. 9, 1961, p. 206—207.

(Articol intrat în redacție la 19 septembrie 1977)

* D. Gavrilă este inginer la Trustul „Electromontaj".

Electrificarea județului Hunedoara*)

Ing. C. Morțun

Județul Hunedoara cuprinde trei municipii : Deva, reședința județului, Hunedoara și Petroșani ; 9 orașe : Brad, Călan, Orăștie, Simeria, Hațeg, Lupeni, Petrila, Vulcan și Uricani ; 57 de comune (din care 6 suburbane) și 459 sate.

Relieful este variat, predominant muntos. La nord, culmile Munților Metaliferi din Apuseni. La centru, între Orăștie și Deva, depresiunea largă a văii Mureșului, continuată de-a lungul Streiului cu depresiunea Hațegului, leagănul românismului. La sud, Carpații Meridionali, cu înălțimi în jur de 2500 m, străjuiesc zona de podiș-deal a văii Jiului.

Județul are o bogată rețea de ape. În centru, Mureșul, cu afluenții din zonă : Cerna, Streiul cu Riul Mare ș.a. La sud, Jiul, cu cele două brațe, de est și de vest, iar la nord Crișul Alb.

Aproape jumătate din suprafața județului este acoperită cu păduri, iar o treime cuprinde pășuni și fînețe. Suprafețele arabile sînt relativ mici și concentrate de-a lungul văii Mureșului și în țara Hațegului.

Județul Hunedoara dispune în subsol de numeroase, variate și bogate resurse naturale, situate în trei zone : zona minereurilor auro-argentifere și cărbunelui brun la nord ; zona minereurilor de fier la centru, precum și cel mai important bazin carbonifer al țării (Valea Jiului) la sud.

În perioada de început a utilizării electricității, județul Hunedoara era unul dintre cele mai industrializate din țară, caracteristică ce a fost păstrată și accentuată în continuare. Primele și cele mai importante industrii au fost cea siderurgică în regiunea centrală : Hunedoara-Călan, și cea minieră : Brad-Barza în nord și Valea Jiului în sud. În județ s-au dezvoltat și alte industrii : industria chimică la Orăștie și în Valea Jiului ; construcțiile de mașini la Simeria și Petroșani ; industria ușoară și alimentară la Orăștie-Deva-Simeria-Petroșani-Hațeg ; materialele de construcții la Deva, Barul Mare, Bîrcea ; exploatarea și industria lemnului la Orăștie, Hunedoara, Hațeg, Petroșani etc.

Valorificarea industrială a resurselor naturale, în special cele ale subsolului, a început relativ tîrziu, la sfîrșitul secolului trecut și începutul secolului XX, cînd a fost introdusă și utilizarea electricității mai întîi pentru industrie, iar apoi și pentru deservirea unor localități.

Electricitatea a apărut pentru prima dată în județul Hunedoara în zona centrală — a fierului — la 1895—1897, cînd s-a construit la Govăjdia, pe riul cu același nume, o centrală hidroelectrică pentru deservirea furnalelor din zonă. Centrala a fost echipată cu două grupuri, o turbină Francis 81 CP, cu generator 60 kW de c.a. trifazat 3200 V 42 Hz și o turbină Francis 140 CP, cu generator 100 kW și aceleași caracteristici electrice.

În zona de nord, la Gura-Barza, în apropierea minelor de la Țebea și folosind cărbunii de la această mină, s-a construit în 1898—1900 o primă centrală termoelectrică echipată cu două grupuri mașini cu abur și generatoare de cîte 200 kW, 3200 V c.a. trifazat, 42 Hz.

În sud, pe Valea Jiului, electricitatea apare ceva mai tîrziu. Prima centrală termoelectrică se instalează în 1905, la Vulcan, în vederea alimentării cu energie electrică a exploatărilor carbonifere de la Vulcan și Aninoasa.

Pe măsura dezvoltării industriei miniere și metalurgice din județ, se amplifică instalațiile electroenergetice, constituindu-se în cele trei zone industriale la început cîte o rețea de transport și distribuție zonală, amplificate ulterior pînă la nivelul unor mici sisteme electroenergetice locale, sisteme care constituie baza electrificării județului Hunedoara.

Sistemele locale s-au dezvoltat izolat pînă la război (1945), dată de la care a început constituirea unui singur sistem (regional Hunedoara) prin interconectarea sistemelor locale de nord cu cel de centru și apoi organizarea în 1950 a sistemului Ardealul central, prin interconectarea în 60 kV a acestui sistem (regional Hunedoara) cu rețeaua SETA, respectiv cu instalațiile din regiunea Tîrnăveni-Sibiu. Prin punerea în funcțiune în 1954 a CTE Fîntînele și a LEA 110 kV Fîntînele-Tîrnăveni-Hunedoara și 110 kV Fîntînele-Brașov, s-a conturat, sistemul electroenergetic național din această parte a țării (centrul și sudul Ardealului).

Sistemul local din Valea Jiului a fost integrat sistemului electroenergetic național în 1956, după punerea în funcțiune a CTE Paroșeni și a LEA 110 kV Paroșeni-Hunedoara, precum și a liniilor de 35 kV din Valea Jiului.

1. **Sistemul local Deva-Hunedoara-Călan.** Prima centrală electrică din această zonă s-a construit la Govăjdia în anii 1895—1897, după cum s-a arătat mai sus. Tot pe valea Govăjdiei, la Cățănaș, s-a construit în 1897 o centrală hidroelectrică echipată cu două turbine Francis, una de 270 CP 200 kW 5250 V c.a. trifazat, 42 Hz și alta de 205 CP 150 kW, aceleași caracteristici. Primul grup alimenta prin LEA 5 kV minele de fier de la Ghelar, iar cel de-al doilea furnalele de la Hunedoara.

În 1906 apare, în incinta uzinelor metalurgice Hunedoara, prima CTE, echipată inițial cu două turbogrupuri identice de cîte 1200 CP, 860 kW, 5250 V. c.a. trifazat, 42Hz. Concomitent se execută LEA 5 kV între CHE Cățănaș și CTE Hunedoara.

În timpul primului război mondial, industria siderurgică din zona Hunedoara a fost puternic dezvoltată. Ca urmare, în anul 1915 se construiește la Hunedoara o nouă CTE, echipată cu două turbogrupuri de cîte 1200 kW 5500 V c.a. trifazat, 42 Hz, care au alimentat uzinele metalurgice din Hunedoara pînă în anii 1939—1940, cînd această a doua centrală este reconstruită, fiind amplificată și modernizată. Se renunță la grupurile montate în 1915 și se instalează în loc două turbogrupuri de cîte 7500 kW, 6000 V c.a. trifazat, 50 Hz, introducîndu-se astfel în sistemul local Hunedoara frecvența normalizată de 50 Hz.

În aceeași zonă, în orașul Deva, independent de sistemul local Hunedoara, se instalează în 1903 o centrală termoelectrică comunală, echipată inițial cu un motor de gaz sărac și generator de 350 kVA, 5500 V c.a. trifazat, 42 Hz, amplificată în 1920 cu un grup Diesel-electric 300 CP și mai tîrziu cu încă două grupuri Diesel, unul de 300 CP și altul de 200 CP, cu generatoare de 5500 V c.a. trifazat, 42 Hz, renunțîndu-se la grupul cu motor de gaz sărac. Necesitățile orașului Deva, ca și ale localităților învecinate alimentate din centrala orașului : Sîntuhalm, Simeria și Biscaria, nu mai pot fi satisfăcute, și în anul 1934 se acordă societății SETA din Sibiu concesiunea exploatării electricității în orașul Deva și în împrejurimi. La început, SETA exploatează instalațiile în schema în care le-a preluat. În 1940, SETA reușește să prelungească pînă la Deva LEA 25 kV Gura-Barza — Certej, care fusese construită în 1924 în cadrul sistemului local de nord Brad — Gura-Barza, și prin stația 25/15 Deva preia alimentarea orașului Deva și a localităților învecinate la tensiunea de 15 kV. În același timp, s-a trecut și la frecvența de 50 Hz cu care funcționau instalațiile din sistemul nord, renunțîndu-se la centrala Diesel locală (Deva.)

După cel de-al doilea război mondial, dezvoltarea industriei siderurgice de la Hunedoara s-a făcut într-un ritm deosebit de rapid și în același ritm au crescut și necesitățile de putere și energie electrică. Pentru satisfacerea acestora, s-au executat concomitent următoarele lucrări :

a) S-a amplificat centrala termoelectrică existentă în funcțiune, denumită CTE—1, cu un nou turbogrup de 6000 kW, puterea instalată a acestei centrale devenind 2×7500 kW $+ 1 \times 6000$ kW $= 21000$ kW.

b) S-a reconstruit prima centrală termoelectrică care fusese dezafectată, fiind acum denumită CTE—2, în care s-a instalat un turbogrup de 12 000 kW. În felul acesta, puterea totală instalată a centralelor proprii ale combinatului siderurgic Hunedoaraa fost ridicată la 21 000 kW + + 12 000kW = 33 000 kW.

c) S-a construit și pus în funcțiune în 1951 LEA 35 kV Gura-Barza — Hunedoara, interconectîndu-se în acest fel centralele de bază ale sistemelor locale de nord și de centru

*) Fragment din lucrarea „Istoria electrificării României", elaborat de un colectiv sub conducerea prof. univ. emerit ing. C. Dinculescu (lucrare ce urmează să apară).

d) S-a repus în stare de funcționare vechea centrală Diesel-electrică Deva, în care s-au instalat provizoriu trei grupuri Disel noi, din cele achiziționate special din import pentru alimentări urgente, în ordinea : 1 grup de 2000 kW în 1950 ; 1 × 950 kW în 1951 și 1 × 2000 kW în 1952, construindu-se în același timp și LEA 35 kV Deva-Hunedoara, cu stațiile aferente de 35/6 kV. În cadrul acestor lucrări s-a înlocuit tensiunea de 25 kV existentă, în special în sistemul local din nord, cu tensiunea de 35 kV.

Soluționarea integrală a necesităților de putere și energie electrică ale centrului siderurgic Hunedoara nu a putut fi realizată decît odată cu punerea în funcțiune a centralelor Fîntînele și Paroșeni și a LEA 110 kV Fîntînele — Tîrnăveni — Hunedoara și apoi a LEA 110 kV Paroșeni — Hunedoara, în anii 1954—1956.

În cea de-a doua zonă metalurgică a județului, Călan, mai mică și mai puțin importantă decît Hunedoara, electrificarea s-a introdus puțin mai tîrziu. Prima centrală termoelectrică a apărut în incinta uzinelor metalurgice Călan în 1899. După diferite transformări, în 1936 această centrală dispunea de o putere instalată de 530 CP, 400 kW, 400 V c.a. trifazat, 50 Hz, în următoarele grupuri : două mașini cu abur — una de 250 CP, 200 kW, alta de 140 CP, 100 kW — și două grupuri Diesel-electrice — unul de 100 CP 70 kW, altul de 50 CP, 30 kW.

În 1934, în apropierea Călanului, pe valea Sîngeorgiului, s-a construit o centrală hidroelectrică cu un grup de 825 CP și generator de 700 kW, 6300 V c.a. trifazat, 50 Hz. Interconectarea celor două centrale s-a făcut printr-o LEA 6 kV și o stație 6/0,4 kV la Călan.

Această situație a rămas neschimbată pînă după cel de-al doilea război mondial, cînd s-a hotărît ca necesitățile sporite de putere și energie electrică din zonă să fie satisfăcute prin racordarea Călanului în 35 kV la sistemul electroenergetic zonal de centru, care, după cum s-a văzut mai sus, dispunea în perioada anilor 1950—1952 de instalații de producere puternice (circa 37 500 kW).

În cadrul acestei acțiuni s-au executat în anii 1951—1953 : LEA 35 kV Hunedoara — Călan ; LEA 35 kV Deva — Simeria — Cugir, cu derivația Orăștie ; LEA 35 kV Hunedoara — Ghelar și LEA 35 kV Hunedoara—Teliuc, prelungită ulterior pînă la Hațeg. Astfel, prin aceste linii a fost preluată alimentarea cu energie electrică din sistemul Ardealul central a tuturor consumatorilor din zonă.

2. **Sistemul local Brad — Gura-Barza.** După primele începuturi din 1898—1900, concretizate prin construirea și punerea în funcțiune a primei centrale termoelectrice de la Gura-Barza, cu o putere totală instalată de 400 kW, 3200 V c.a. trifazat, 42 Hz, în 1910 se construiește tot la Gura-Barza o a doua centrală termoelectrică echipată cu o mașină cu abur și generator 320 kW, 3200 V c.a. trifazat, 42 Hz. La sfîrșitul anului 1910, puterea totală instalată a acestor două centrale era de 720 kW.

După primul război mondial, în 1924, a doua termocentrală este amplificată cu două grupuri : o mașină cu abur 650 CP, 480 kW și un turbogenerator BBC de 2000 kW, ambele la 3200 V, 42 Hz ; în felul acesta, puterea totală instalată în a doua centrală devine de circa 2800 kW. În același timp s-a procedat la desființarea primei centrale, construită în 1898—1900.

În 1930, această a doua centrală, care va fi cunoscută ulterior sub denumirea de „uzina veche", este amplificată cu un turbogrup de 3000 kW, 3200 V c.a. trifazat, 42 Hz, astfel încît puterea instalată în această centrală devine de aprox. 5800 kW.

Concomitent se dezvoltă instalațiile de transport și distribuție. După construirea primelor LEA de 3 kV, pe măsura creșterii sarcinilor și a distanțelor, se construiește, în 1910, LEA 12 kV Gura-Barza — Brad pentru alimentarea orașului Brad și a exploatărilor miniere din zonă, linie prelungită ulterior pînă la minele de la Țebea ; la CTE Gura-Barza se construiește o stație la 3/12 kV.

În 1924, după prima amplificare a „uzinei vechi", se construiește pentru orașul Brad o nouă alimentare, de această dată în 15 kV, trecîndu-se cu această ocazie toate liniile și instalațiile de la 12 la 15 kV, reconstruindu-se și la centrala Gura-Barza stația de alimentare 3/15 kV.

În 1934 se introduce în zonă tensiunea de 25 kV, construindu-se prima LEA de 25 kV Gura-Barza — Certej pentru alimentarea noilor mine de aur deschise în această regiune. Pentru alimentarea liniilor de 25 kV se construiește la centrala Gura-Barza o stație 3/25 kV. Această primă linie de 25 kV a fost prelungită în 1940 pînă la Deva, realizîndu-se astfel prima legătură între sistemele locale de nord și de centru ale județului Hunedoara.

Creșterea necesităților de putere și de energie electrică în zonă a obligat Soc. „Mica" să treacă la construirea în anii 1937—1938 a unei a treia centrale termoelectrice, modernă, echipată inițial cu un turbogrup nou, de 5260 kW, 6300 V c.a. trifazat, 50 Hz, și cu turbogrupul de 3000 kW din „uzina veche", care a fost repaletat și modificat pentru 6300 V, 50 Hz și mutat în centrala nouă. În 1938, puterea totală instalată în centrala nouă era de 8260 kW. Centrala veche a fost desființată, grupul de 2000 kW fiind transferat la Metrom-Brașov.

După o nouă amplificare în 1950 cu un turbogrup de 7500 kW, centrala Gura-Barza, cu o putere instalată de 15 760 kW, a fost integrată sistemului Ardealul central și ulterior celui național.

Modernizările, transformările și extinderile au cuprins și instalațiile de transport și distribuție. Se introduce tensiunea de 60 kV, construindu-se o nouă stație la centrala Gura-Barza, de 6/25/60 kV. Prima linie de 60 kV Gura-Barza — Zlatna — Boteș (44 km) s-a construit în 1937—1938 și s-a prelungit în 1940 pînă la Roșia-Montana.

În 1948 se construiește LEA 60 kV Zlatna-Sebeș, realizîndu-se astfel interconexiunea cu rețeaua fostei societăți SETA-Sibiu. În sfîrșit, în 1950, prin prelungirea LEA 60 kV de la Sebeș la Sibiu, se realizează interconexiunea în 60 kV Gura-Barza — Tîrnăveni, prima interconexiune importantă din cadrul sistemului regional Ardealul central. În aceeași perioadă, derivația de 60 kV Zlatna — Roșia-Montană s-a prelungit cu încă aproximativ 20 km pînă la Baia de Arieș, pentru alimentarea cu energie electrică a noilor exploatări pentru minereuri complexe neferoase.

După 1950, prin LEA 35 kV Gura-Barza — Hunedoara, construită în 1951, s-a realizat și interconexiunea cu centralele din zona metalurgică de centru ; iar prin construirea LEA 110 kV Brad-Vașcău, care a funcționat în prima etapă în 35 kV, și a centralei Diesel-electrice Vașcău, s-a realizat și interconexiunea cu instalațiile din nord-vestul țării.

3. **Sistemul local Valea Jiului.** La începutul acestui secol, în cadrul fostului imperiu austro-ungar, s-a trecut la exploatarea industrială a bazinului carbonifer Valea Jiului. În acest scop au fost constituite trei grupuri financiare : un grup de stat devenit după primul război mondial „Lonea SAR", care exploata minele din zona Lonea-Petroșani-Dîlja ; un grup particular „Sálgo-Tarjany", devenit după război „Petroșani SAR", care exploata minele din zona Vulcan-Aninoasa-Petrila, și alt grup particular „Urikany-Zsilvölgy", devenit după război „Lupeni SAR", care exploata minele din zona Lupeni-Uricani.

Fiecare din aceste trei grupuri și-a construit cîte o centrală termoelectrică proprie, care au fost preluate după primul război mondial, astfel :

— Grupul Sálgo și-a construit centrala la Vulcan în 1905, preluată de Petroșani SAR ;

— Grupul Uricani și-a construit centrala la Lupeni în 1906, preluată de Lupeni SAR ;

— Grupul de stat și-a construit centrala la Lonea în 1909, preluată de Lonea SAR.

La cele trei centrale se foloseau drept combustibili deșeurile rezultate din exploatarea și manipularea cărbunelui.

La CTE Vulcan s-a montat inițial în 1905 un grup format dintr-o mașină cu abur de 680 kW, iar în anul 1908 un turbogrup de 2500 kW, 5250 V c.a. trifazat, 42 Hz. CTE Lupeni a fost echipată inițial în 1906 cu două turbogrupuri, 1000 kW și 2000 kW, la aceeași tensiune, 5250 V c.a. trifazat, dar la frecvența normală de 50 Hz, iar în 1911 se amplifică cu încă un turbogrup de 2500 kW, 50 Hz.

CTE Lonea-Petroșani, construită în 1909, a fost echipată inițial cu două turbogrupuri, 1000 kW și 1800 kW, debitînd energia electrică la 5250 V și 50 Hz c.a. trifazat.

În prima perioadă de după primul război mondial, CTE Lonea-Petroșani este oprită, alimentarea minelor de la

Lonea-Petroşani-Dilja fiind preluată de CTE Vulcan, prin LEA 5,5 kV.

În perioada anilor 1929—1930, după fuziunea celor două societăţi Petroşani SAR şi Lupeni SAR în una singură „Petroşani SAR", se hotărăşte şi concentrarea producerii energiei electrice pentru întreg bazinul carbonifer Valea Jiului la Vulcan şi alimentarea tuturor exploatărilor în 15 kV şi 5,5 kV. În acelaşi timp se stabileşte şi trecerea de la frecvenţa de 42 Hz la cea normalizată de 50 Hz.

Între timp, CTE Vulcan ajunsese la o putere totală instalată de 10 100 kW în 4 grupuri : 1 × 5300 kW, 2 × 2000 kW şi 1×1800 kW. În momentul trecerii la frecvenţa de 50 Hz în 1931, s-a hotărît să se modifice pentru această frecvenţă numai grupul de 5300 kW, realizîndu-se însă şi interconexiunea cu CTE Lupeni prin două LEA de 15 kV. Concomitent se instalează noi grupuri în CTE Vulcan : 1 × 7200 kW şi 2 × 3400 kW la frecvenţa de 50 Hz, astfel încît puterea celor două centrale interconectate a devenit : CTE Vulcan 19 300 kW şi CTE Lupeni 5500 kW, adică în total 24 800 kW. După modificarea frecvenţei, CTE Lupeni a fost desfiinţată, iar cele trei grupuri din centrală transferate şi puse în funcţiune în CTE Vulcan, care a fost complet refăcută şi a atins astfel singură în perioada 1935—1936 puterea instalată de 24 800 kW.

În ceea ce priveşte reţelele, acestea s-au dezvoltat pe două nivele de tensiune : 5,5 kV tensiunea generatoarelor şi 15 kV introdusă odată cu normalizarea frecvenţei. S-au realizat astfel o serie de legături între CTE Vulcan şi CTE Lupeni, care după desfiinţarea acesteia din urmă au servit pentru alimentarea exploatărilor miniere şi a industriilor anexe din Lupeni şi împrejurimi. S-au construit apoi liniile de 15 kV Vulcan-Petrila, Vulcan-Aninoasa-Petroşani, liniile de 5,5 kV Petroşani-Petrila etc.

Tensiunea de utilizare a fost la început de 110 V pentru iluminat şi 500 V pentru forţă. După normalizarea frecvenţei (1931) tensiunile de utilizare au fost de 110 V pentru lumină şi 380 V pentru forţă.

Integrarea acestui sistem local în sistemul energetic naţional s-a făcut în 1956, odată cu punerea în funcţiune a CTE Paroşeni şi cu suprapunerea unei reţele locale de 35 kV, realizîndu-se astfel şi interconexiunea în 35 kV dintre CTE Paroşeni şi CTE Vulcan, centrală care funcţionează şi astăzi.

Electrificarea localităţilor din judeţul Hunedoara, cu cîteva excepţii, a plecat în general de la existenţa celor trei sisteme locale, care în 1938 dispuneau de o putere totală instalată de peste 35 000 kW, iar imediat după cel de-al doilea război mondial şi înainte de organizarea sistemului naţional, de

Nr. crt.	Intreprinderea şi localitatea	Anul punerii în funcţiune	Felul grupului	Nr. de unităţi	Puterea	
					unitară, kW	totală, kW
1	Uzinele metalurgice Hunedoara					
	a) CHE Govăjdia	1897	TH	1	60	
			TH	1	100	160
	b) CHE Cătănaş	1897	TH	1	200	
			TH	1	150	350
	c) CTE Hunedoara I	1906	TA	2	860	1 720
	(ulterior CTE 2)	1946	TA	1	12 000	12 000
	d) CTE Hunedoara II	1915	TA	2	1 200	2 400
	(ulterior CTE 1)	1940	TA	2	7 500	15 000
		1946	TA	1	6 000	21 000
2	Uzinele metalurgice Călan					
	a) CTE Călan	1899	MA	1	200	200
		1936	MA	1	200	
			MA	1	100	
			MD	1	70	
			MD	1	30	400
	b) CHE Călan	1934	TH	1	700	700
3	Exploatările miniere ale Soc. „Mica" Brad					
	a) CTE Gura-Barza I	1900	MA	2	200	400
		1924	—	—	—	0
	b) CTE Gura-Barza II (uzina veche)	1910	MA	1	320	320
		1924	MA	1	480	
		1924	TA	1	2000	2 800
		1930	TA	1	3000	5800
		1938	—	—	—	0
	c) CTE Gura-Barza III	1938	TA	1	5 260	
		1938	TA	1	3 000	8 260
		1950	TA	1	7 500	15 760
4	Exploatările miniere Valea Jiului					
	a) CTE Vulcan	1905	MA	1	680	680
		1908	TA	1	2 500	3180
		1930	TA	1	5 300	
		1930	TA	2	2 000	
		1930	TA	1	1 800	11 100
		1932	TA	1	5 300	
		1932	TA	1	7 200	
		1932	TA	2	3 400	19 300
		1936	TA	1	1 000	
		1936	TA	1	2 000	
		1936	TA	1	2 500	24 800
	b) CTE Lupeni	1906	TA	1	1 000	
		1906	TA	1	2 000	3 000
		1911	TA	1	2 500	5 500
		1936	—	—	—	0
	c) CTE Lonea-Petroşani	1909	TA	1	1 000	
			TA	1	1 800	2 800
		1921	—	—	—	0

MA — maşină cu abur; TH — turbină hidraulică; MD — motor Diesel; TA — turbină cu abur

peste 70 000 kW, adică aproximativ 10% din puterea instalată în țară la acea dată.

În tabelul de mai sus sînt concentrate datele privind centralele electrice din sistemele locale ale județului Hunedoara și evoluția puterilor instalate de la înființarea lor și pînă la integrarea în sistemul național.

Bibliografie

[1] * * * Ministerul Industriei și Comerțului. *Statistica instalațiilor de forță din România*, București, 1925.

[2] Schileru, Gr. *Normalisation de la fréquence dans la centrale électrique et le complèxe d'installations d'une entreprise minière*, București, IRE, 1933.

[3] * * * APDE. *Statistica uzinelor electrice din România*. Anii 1936, 1938, 1941.

[4] * * * IE Deva și IRE Deva. *Dare de seamă cu prilejul „Zilei energeticianului"*. Deva, 1972.

[5] Mureșescu, E. *Informații asupra electrificării unor localități din raza de activitate a IRE Deva*. Deva, 1973.

[6] * * * IRE Deva. *Dezvoltarea instalațiilor de transport și distribuție a energiei electrice în județul Hunedoara*. Deva, 1973.

CRONICA

A X-a Sesiune a Conferinței Mondiale a Energiei

(Istanbul, 19 — 23 septembrie 1977)

Între 19 și 23 septembrie 1977 a avut loc la Istanbul a X-a sesiune a Conferinței Mondiale a Energiei (CME), organizație tehnico-științifică internațională neguvernamentală, care grupează în prezent 77 de țări, printre care și România. Țara noastră face parte dintre țările fondatoare ale organizației, fiind prezentă încă de la prima sesiune, care s-a ținut la Londra în 1924.

Conferința Mondială a Energiei are ca scop promovarea unei concepții științifice privind valorificarea rațională a resurselor de energie în slujba societății, precum și găsirea soluțiilor optime de producere și utilizare a energiei. Ea se ocupă de toate formele de energie, de la resursele primare și pînă la valorificarea lor sub formă de energie utilă, precum și de aspectele complexe ale relațiilor și legăturilor reciproce dintre diversele forme de energie.

La 19 septembrie 1977 a avut loc ședința de deschidere, prezidată de Roger Gaspard — Franța, președintele în funcțiune al Consiliului executiv internațional al CME, în cadrul căreia s-a citit mesajul de salut din partea președintelui Republicii Turcia, Fahri Korutürk, urmat de discursul ministrului energiei și resurselor naturale ale Turciei, Kamran Inan, de discursul președintelui în funcțiune al CME, John Petridge — S.U.A. și discursul inaugural propriu-zis, pronunțat de primul ministru al Turciei, Suleyman Demirel.

În zilele de 17, 18 și 23 septembrie 1977 au avut loc ședințele Consiliului executiv internațional, forul de conducere al organizației.

Tema celei de-a X-a sesiuni a CME a fost „Disponibilitatea și utilizarea rațională a resurselor energetice", pe baza căreia au fost întocmite 143 de rapoarte tehnice, tratînd problemele actuale ale resurselor energetice clasice, ale utilizării și transformării energiei, precum și problemele dezvoltării resurselor energetice neclasice. Rapoartele sînt diferite ca importanță, nivel de informare și mod de tratare a problemelor, dar în ansamblul lor reflectă condițiile și tendințele actuale în domeniul energiei, pe plan mondial și în diferite țări.

Lucrările sesiunii s-au desfășurat în discuții tehnice pe marginea rapoartelor prezentate, în ședințele unor comitete specializate pe probleme ale CME, în ședințe speciale, precum și în cadrul unor mese rotunde, cu tematici de actualitate. Au participat 4500 de delegați din 70 de țări, din partea țării noastre participînd o delegație formată din șase specialiști.

DESFĂȘURAREA LUCRĂRILOR SESIUNII

A. ȘEDINȚE TEHNICE

Ședințele tehnice s-au desfășurat în patru diviziuni, cu tematici tehnice diferite. Principalele concluzii care se pot desprinde din rapoarte și din discuțiile ședințelor tehnice sînt prezentate în cele de mai jos.

Diviziunea 1 — **Dezvoltarea resurselor energetice clasice**

Lucrările diviziunii 1 s-au ocupat în principal de problemele extracției diferitelor resurse clasice de energie primară.

Ca o preocupare principală a apărut găsirea căilor și metodelor de exploatare mai avansată a zăcămintelor existente de hidrocarburi, precum și găsirea de noi zăcăminte ale acestor resurse, vitale pentru dezvoltarea omenirii.

1.1. *Îmbunătățirea tehnologiilor de exploatare*

Majorarea prețului țițeiului a stimulat activitatea de exploatare a resurselor energetice clasice și extinderea explorării în regiunile cu condiții defavorabile (arctice, tropicale, fundul mărilor).

Pentru țiței și gaze, explorările se extind în special în zonele marine. În exploatarea fundului mării se folosesc dispozitive complexe, complet automatizate, în care platforma marină folosită are echipamentul împărțit în două : o parte este situat pe fundul mării, în puțuri, iar o altă parte este amplasată la suprafață, pe platforma plutitoare (1.1—5, Franța).

Pentru cărbune, prospecțiunile geologice sînt îndreptate spre zonele de adîncime mai mare, cercetările mergînd pe linia perfecționării tehnicilor geofizice și a metodelor seismice, pentru identificarea și delimitarea filoanelor și a stratificării în interiorul filonului (1.1—1, Marea Britanie).

1.2. *Îmbunătățirea metodelor de extracție a combustibililor din zăcăminte*

Rezervele limitate de combustibili clasici au condus la aplicarea unor metode de mărire a gradului de recuperare din zăcăminte. Astfel :

— la țiței (1.1—1, Marea Britanie ; 1.2—2, Norvegia) se folosesc metode termice pentru fluidizarea țițeiurilor viscoase, metode de amestec și metode de inundare chimică (1.2—1, S.U.A.). Prin aceste metode, gradul de recuperare crește de la 30—40%, cît este în prezent, la 60—80% ;

— la cărbune se utilizează echipamente perfecționate, cu un grad avansat de automatizare a operațiilor (1.2—3, Australia).

Datorită rezervelor importante, nisipurile bituminoase prezintă interes, în special ca o sursă potențială de hidrocarburi. Metodele miniere utilizate pun probleme de exploatare și probleme ecologice. Realizările cele mai importante se găsesc în Canada, unde funcționează două excavatoare gigantice, cu o producție de 140 000 t pe zi nisipuri bituminoase. Ca o problemă de perspectivă este indicată exploatarea hidraulică a nisipurilor bituminoase.

În Canada urmează ca în anul 1978 să intre în exploatare comercială zăcămintele din statul Alberta. Cu tehnologia actuală, obținerea de hidrocarburi este încă oneroasă și, prin programe de cercetare, urmează să fie puse la punct procedee care să facă competitiv prețul hidrocarburilor obținute pe această cale (1.2—6, Canada).

1.3. Îmbunătățiri tehnice în domeniul exploatării resurselor cu conținut redus de energie

Se constată interesul sporit pentru folosirea combustibililor cu conținut redus de energie (1.3—5, CAER ; 1.3—1, România ; 1.3—6, Australia ; 1.3—7, Iugoslavia).

Totodată s-au dezvoltat tehnologii noi de înnobilare a acestor combustibili, dintre care se menționează :

— tehnica electrostatică în strat fluidizat, care permite obținerea, dintr-un cărbune bogat în sulf și cu conținut ridicat de cenușă, a unui cărbune mai bun, pentru destinații energetice și industriale (1.3—2, Canada) ;

— procedeul de fabricare la temperatură înaltă a cocsului din lignit. Cocsul rezultat poate fi utilizat pentru încălzit, în metalurgie și în chimie. Gazele rezultate din proces pot fi utilizate în industrie drept combustibil, ca materie primă și pentru consum casnic (1.3—3, R.D.G.) ;

— procedeul de fabricare a unui „cocs artificial" din cărbuni cu putere calorică scăzută, necocsificabili sau puțin cocsificabili, utilizabil în furnalele convenționale (1.3—4, Japonia).

Totodată se fac experimentări în scopul lichefierii și gazificării cărbunilor (1.3—6, Australia ; 1.3—7, Iugoslavia). Tehnologiile aplicate pînă în prezent trebuie însă perfecționate.

În ceea ce privește distanța economică de transport al combustibililor cu conținut redus de energie, un singur raport (1.3—7, Iugoslavia) arată că, potrivit analizelor efectuate în condițiile respective, pentru lignit cu o putere calorică inferioară celei de 1700—2000 kcal/kg, distanța între mină și consumator nu trebuie să depășească 40 km.

1.4. *Disponibilitatea resurselor energetice pentru satisfacerea necesităților actuale și viitoare*

Hidrocarburile sînt considerate în prezent mai puțin ca un combustibil și mai mult ca o materie primă de bază pentru chimizare. În programele de perspectivă se prevede înlocuirea lor, acolo unde este posibil, prin dezvoltarea și utilizarea altor resurse. Această problemă este corelată și cu valorificarea eficientă a resurselor de energie cu putere calorică mică și cu creșterea independenței energetice (1.4—8, Iugoslavia).

În acoperirea necesarului de energie, un rol important revine energiei electrice. În programele țărilor privind asigurarea cu energie în viitor, se prevede creșterea ponderii producției de energie electrică prin :

— intensificarea amenajării potențialului hidroenergetic (1.4—2, Argentina ; 1.4—5, Suedia ; 1.4—7, Mexic ; 1.4—10 și 1.4—14, Turcia) ;

— utilizarea cărbunelui cu putere calorică mică pentru producerea de energie electrică și dezvoltarea producției de cărbune (1.4—1, Indonezia ; 1.4—2, Argentina ; 1.4—9, Ungaria ; 1.4—10 și 1.4—14, Turcia) ;

— utilizarea energiei nucleare (1.4—6, Belgia ; 1.4—2, Argentina) ;

— utilizarea resurselor noi, regenerabile (solară, geotermică).

În vederea fundamentării politicii energetice, se elaborează modele matematice, care au ca scop studierea gospodăririi resurselor naturale și în primul rînd a resurselor energetice (1.4—12, Austria ; 1.4—4, Africa de Sud).

Diviziunea 2 — **Conservarea în utilizarea energiei**

2.1. *Utilizarea industrială*

În cadrul acestei diviziuni, s-a reținut interesul general pentru o politică rațională de gospodărire a energiei. Au fost prezentate exemple de posibilități de economisire a energiei în industrii energointensive. În domeniul consumului casnic, o proiectare corespunzătoare a clădirilor de locuit și sociale poate conduce la reducerea substanțială a consumurilor de energie, prin aplicarea unor izolații mai bune, printr-o ventilație corespunzătoare și prin folosirea unor sisteme perfecționate de reglaj.

Relativ la conservarea energiei, s-a subliniat faptul că aceasta nu poate avea ca scop unic economisirea energiei, ci trebuie avute în vedere și implicațiile economice, ceea ce necesită existența unor prețuri corect corelate ale diferitelor forme de energie.

Folosirea mai rațională a energiei în industrie este tratată în rapoarte sub mai multe aspecte, care converg spre lărgirea expresiei de „producție combinată".

Instalațiile combinate au în vedere gruparea într-o instalație unică de diferite subansambluri, cum sînt : cazane și turbine cu abur, turbine cu gaze, cazane recuperatoare, pompe de căldură, compresoare. Combinarea proceselor este prezentată ca o soluție eficientă (raportul de bază P.P.—2, Marea Britanie ; 2.1—5, U.R.S.S.).

Potrivit unei analize făcute în S.U.A. posibilitățile de economisire a energiei sînt mai ridicate în cazul utilizării directe a combustibilului (economii posibile 15—20%) decît în cazul utilizării energiei electrice (economii 5%).

Preocupările din alte țări privind conservarea energiei în utilizările industriale pun în evidență următoarele probleme :

— analiza și aplicarea schemelor energotehnologice, pentru utilizarea cît mai eficientă a energiei în procesele industriale ;

— întocmirea pentru fiecare sector de activitate (ramură industrială) a unei balanțe de utilizare a energiei primare pentru tehnologie, încălzire, iluminat etc. În acest fel se pot evidenția punctele importante în care urmează să se acționeze (2.1—6, Danemarca) ;

— studierea consumului total de energie pentru fabricarea materialelor de construcție, transportul lor și punerea lor în operă. Analiza efectuată pentru 1 m² de suprafață construit în diferite tipuri constructive de blocuri de locuințe poate ajuta la luarea deciziilor în domeniul strategiei evoluției industriei construcțiilor (2.1—1, Polonia).

2.2. *Utilizări casnice și comerciale*

Consumul casnic de energie deține o pondere importantă din consumul total de energie, în unele țări fiind principalul consumator de energie.

În rapoarte au fost prezentate metode de reducere a consumului de energie în sectorul casnic, dintre care se menționează :

— îmbunătățirea izolației termice a locuințelor (izolarea zidurilor și planșeelor cu vată minerală, montarea de ferestre triple), acordîndu-se pentru aceasta și subsidii din partea statului (2.2—1, Suedia ; 2.2—6, Danemarca ; 2.2—7, Marea Britanie) ;

— montarea de termostate la radiatoare și contorizarea căldurii (2.2—1, Suedia) ;

— montarea în spatele radiatoarelor a unor panouri de polistiren expandat de circa 12 mm grosime, placate cu folii de aluminiu. Aceasta are ca efect reducerea pierderilor de căldură cu circa 10% (2.2—7, Marea Britanie) ;

— informarea publicului asupra importanței enonomiei de energie și stabilirea unui serviciu de consultanți în domeniul încălzirii (2.2—6, Danemarca) ;

— realizarea unor case dotate cu pompe de căldură, care consumă circa 1/3 din necesarul unei case obișnuite (raport 2.2—7, Marea Britanie) ;

— studierea unor sisteme de încălzire individuale, cu cazane cu recuperarea avansată a căldurii, funcționînd pe cărbune (cocs dur), cu un randament global de peste 80%, chiar la sarcini parțiale (2.2—7, Marea Britanie) ;

— ameliorarea randamentelor aparatelor electromenajere (2.5—7, Comunitatea Economică Europeană).

2.3. *Utilizări în transporturi*

Consumul de energie în transporturi deține în unele țări o pondere importantă : S.U.A. 22%, Canada 18%, (2.3—5, Canada), Danemarca 20% (2.2—6, Danemarca), mai ales datorită utilizării autoturismelor. Printre măsurile pentru economisirea energiei în acest sector se preconizează :

— dezvoltarea sistemelor de transport în comun ;
— combinarea diferitelor tipuri de transport ;
— limitarea vitezei ;
— utilizarea de vehicule mai mici și mai ușoare ;
— dezvoltarea tracțiunii Diesel și electrice (2.3—5, Canada).

2.4. *Utilizarea în agricultură*

Consumul de energie în agricultură prezintă valori mai reduse (circa 5% din total în Anglia, 2.4—1, Marea Britanie).

Agricultura modernă intensivă utilizează o mai mare cantitate de energie raportată la hectar, însă mai puțină manoperă. Agricultura puțin intensivă utilizează mai puțină energie și mai multă manoperă însă producția pe hectar este mult mai mică. Ceea ce se economisește în privința energiei utilizate direct se anulează prin energia consumată de oamenii suplimentari care lucrează în agricultură (2.4—1, Marea Britanie).

Principalele acțiuni pentru reducerea consumului de energie sînt :

— îmbunătățirea eficienței culturilor, prin utilizarea îngrășămintelor chimice ;
— utilizarea ierbicidelor, în locul plivitului mecanic ;
— realizarea unor instalații pentru producerea îngrășămintelor, cu randamente ridicate.

Aplicarea îngrășămintelor chimice implică creșterea consumului de energie pe hectar, însă se obțin creșteri substanțiale de producție. Protecția chimică a culturilor necesită un aport mic de energie pe hectar, obținîndu-se totodată creșteri ale recoltei, prin reducerea pierderilor.

2.5. *Influența conservării asupra utilizării energiei electrice*

Preocuparea de a micșora creșterea consumului de hidrocarburi, care se constată în toate țările, reprezintă unul din factorii care contribuie la creșterea producției de energie electrică. Din acest motiv, se acordă importanță unei mai bune utilizări a energiei electrice, principalele direcții fiind :

— reducerea pierderilor de energie electrică în rețelele de transport. Raportul 2.1—5 (U.R.S.S.) are în vedere menținerea plafonului actual de 9% al pierderilor în rețelele electrice, prin montarea de compensatoare sincrone și baterii de condensatoare, deși puterea în centrale crește cu 33%. Raportul 2.3—1 (Italia) prezintă o metodă de calcul al secțiunii optime a conductoarelor, la actualele prețuri ale energiei ;

— dezvoltarea interconexiunii rețelelor de înaltă tensiune (2.3—1, Italia ; 2.3—2, Argentina ; 2.5—3, India) ;

— folosirea mai economică a instalațiilor de producere și transport al energiei electrice, prin stimularea consumului de energie electrică în afara orelor de vîrf (2.5—8, Noua Zeelandă ; 2.2—3, Canada).

Diviziunea 3 — **Transformarea energiei primare**

S-a relevat importanța îmbunătățirii randamentelor producerii energiei și a utilizării combustibililor de calitate inferioară. În același timp, este necesar să se folosească la maximum resursele hidroenergetice, inclusiv în microhidrocentrale, pentru reducerea dependenței energetice de hidrocarburi.

Cel mai înalt interes l-a prezentat producerea combinată de căldură și energie electrică. Majoritatea intervențiilor și rapoartelor au prezentat termoficarea ca o cale importantă de realizare de economii de combustibil.

3.1. *Îmbunătățirea tehnologiei de conversie a energiei primare*

Se constată preocupări pentru creșterea randamentului centralelor hidro și termoelectrice.

În domeniul centralelor hidroelectrice, problematica este strîns legată de ideea valorificării potențialului hidroenergetic, în funcție de condițiile specifice fiecărei țări. Astfel sînt arătate avantajele unui proiect combinat stație de pom-

pare — centrală hidroelectrică cu acumulare prin pompare (3.1—1, Africa de Sud), precum și interesul unor amenajări hidroenergetice cu scopuri multiple (3.1—6, Portugalia).

La centralele termoelectrice, sînt abordate probleme variate : combaterea coroziunii de joasă temperatură la cazane, prin injecție de aditivi (3.1—4, Israel), prezentarea unor propuneri de combinate energetice bazate pe gazificarea cărbunilor inferiori (3.1—2, Polonia și 3.1—5, R.F.G.).

Utilizarea lignitului preocupă atît constructorii de echipament energetic (3.1—9, Ungaria) cît și exploatarea centralelor (3.1—8, Bulgaria). Pentru utilizarea cu randament ridicat a cărbunilor inferiori, se propun procedee noi bazate pe arderea în strat fluidizat, cu temperaturi de lucru sub punctul de înmuiere al cenușii (3.1—3, Marea Britanie) sau gazificarea parțială (3.1—5, R.F.G).

3.2. *Energia nucleară*

Pe plan mondial, poziția competitivă a energiei nucleare este în prezent întărită, ceea ce se reflectă în amploarea programelor nucleare naționale, atît în țările dezvoltate, cît și în cele în curs de dezvoltare.

Se remarcă o nouă preocupare pentru centralele nuclearoelectrice (CNE) : livrarea de căldură, prin producere combinată (3.2—4, U.R.S.S. ; 3.3—4, Finlanda ; 3.3—5, Suedia ; 3.3—6, Polonia). Soluțiile tehnice sînt variate, acoperind o gamă de consumatori de la 25 la 2400 MW_t (20 pînă la 2000 Gcal/h).

Evoluția tehnicii nucleare a ajuns în situația în care se impune o tipizare a sistemelor componente ale CNE (3.2—2, R.F.G). Această necesitate apare ca urmare a avantajelor de cost, a duratelor de execuție, precum și ținînd seama de amploarea programelor naționale.

Un aspect important al preocupărilor actuale îl constituie dezvoltarea reactoarelor reproducătoare rapide (FBR). Astfel, în raportul 3.2—7 (Franța) se arată că Franța, în urma experienței acumulate cu FBR (Rapsodie—reactor de cercetări — 40 MW_e, utilizat în perioada 1967—1977 ; Phenix — 264 MW_e, exploatat de trei ani, cu rezultate foarte bune), a trecut la realizarea prototipului comercial al filierei, SUPERPHENIX, de 1200 MW_e, prevăzut să atingă puterea nominală în 1983.

Raportul 3.2—8 (Marea Britanie) analizează în general interdependența între filierele LWR și FBR, în cadrul unei politici de energetică nucleară.

Se consideră că CNE cu reactoare reproducătoare rapide se vor dezvolta în primul rînd din motive de strategie de combustibil, devenind competitive într-o etapă ulterioară (cînd prețul uraniului va depăși anumite limite).

3.3. *Producția combinată de căldură și energie electrică*

Producerea combinată de căldură și energie electrică prezintă o tendință de extindere și la centralele nuclearoelectrice, atît pentru încălzirea urbană (3.3—5, Suedia), cît și pentru livrarea de căldură tehnologică către obiective industriale (3.3—4, Finlanda).

Structura consumatorilor fiind în general diferită, soluțiile tehnice sînt diverse. Astfel, în Suedia, unde există o experiență de peste zece ani în acest domeniu (CNE Ågesta — PWR, 10 MW_e și 70 MW_t căldură — 60 Gcal/h, funcționînd în perioada 1964—1974), se are în vedere un program de termoficare urbană cu o primă etapă în 1985, pentru centralele Stockholm, Göteborg și Malmö. Se vor instala reactoare de 3000 MW_e cuplate cu grupuri cu condensație de 850 MW/1000 MW_t căldură (860 Gcal/h) sau contrapresiune 600 MW_e/2400 MW_t căldură (2000 Gcal/h). Magistralele vor atinge lungimi totale de 120 km (160°C, 25 at). Se are în vedere amplasarea CNE în caverne și în apropierea consumatorilor.

Ca realizare concretă, se citează, în raportul 3.2—4, CNE Bilibino, U.R.S.S. (48 MW_e și 120 MW_t — 100 Gcal/h căldură), în funcțiune din 1975, amplasată în regiunea arctică a U.R.S.S., în condiții de îngheț permanent. Ca soluții tehnice originale, se menționează răcirea naturală a miezului (reactor grafit — apă) și utilizarea sistemului de răcire uscată (tip Heller). Costul energiei, în condițiile date, rezultă cu 10—15% mai mic decît pentru energia produsă de o centrală clasică.

În Finlanda (3.3—4) se urmărește realizarea la Olkiluoto a unei CNE (PWR 1000 MW, punere în funcțiune 1985), din care să se extragă 136 MW_t (115 Gcal/h) căldură tehnologică pentru industria celulozei. Căldura se prelevează de la reactor sub formă de abur, care se transportă la o distanță de circa 14 km, pînă la consumator, unde alimentează un grup cu contrapresiune și priză (37 MW).

În tehnica termoficării din CNE apar următoarele direcții :

— reactorul funcționează în regim de bază ;

— căldura este prelevată dintr-o unitate comună în care se produce și energie electrică.

În domeniul termoficării din centrale clasice, rapoartele abordează interesul acumulării de căldură, inclusiv pentru creșterea siguranței în alimentarea cu căldură (3.3—2, R.D.G), sau creșterea eficienței economice a termoficării, prin mărirea în continuare a taliei echipamentelor de bază (3.3—7, U.R.S.S.), menționîndu-se grupuri de termoficare urbană cu supraîncălzire intermediară de 400—500 MW. Referitor la utilizarea căldurii de potențial scăzut a apei de răcire a condensatoarelor (25—30°C), raportul 3.3—8 (CEE—ONU) arată că aceasta are un singur utilizator potențial, și anume agricultura. Dată fiind amploarea dezvoltării termoficării în țara noastră, ceea ce se subliniază și în raportul 3.3—1 (România), mai multe idei interesante pot fi desprinse din rapoartele acestei subdiviziuni, și anume :

— necesitatea întocmirii de studii privind CNE de termoficare ;

— studierea posibilităților de creștere a temperaturilor de ducere și mărirea ecartului de temperaturi în rețelele de termoficare (3.3—3, R.F.G.) ;

— instalarea cazanelor de apă fierbinte în sistemele de termoficare cu distanțe mari de transport la capătul dinspre consumator al rețelei (3.3—7, U.R.S.S.) ;

— experimentarea culturilor agricole în terenuri cu solul încălzit (3.3—8, CEE—ONU).

3.4. *Conversia combustibililor solizi în combustibili lichizi și gazoși*

În țări care dispun de experiență de peste 30 de ani în gazificarea cărbunelui (3.4—4, Cehoslovacia), problema este urmărită în continuare, în vederea perfecționării tehnologiei. Cu toate acestea, este interesant de remarcat că puține procedee noi au ajuns în faza comercială, în timp ce chiar pentru procedee cunoscute, cum ar fi procedeul Lurgi, investițiile pentru gazificare au suferit în ultimii doi ani o creștere de peste 3 ori (3.4.—1, S.U.A.). Este interesantă constatarea din acest raport potrivit căreia, pentru următorul deceniu, nici o întreprindere de centrale electrice din S.U.A. nu prevede utilizarea gazificării cărbunelui deoarece arderea cărbunelui pulverizat, combinată cu spălarea în scrubere a gazelor de ardere, este mai economică. Producerea de gaz sintetic de putere calorică joasă interesează în special pentru acoperirea consumului casnic (3.4—4, Cehoslovacia), dat fiind că, la lignit, gazul produs este în unele situații competitiv cu gazul natural (3.4—2, R.F.G.).

3.5. *Sisteme energetice pe bază de hidrogen*

Hidrogenul prezintă un interes evident ca purtător de energie la mare distanță și cu posibilități de acumulare (3.5—4, Turcia ; 3.5—3, Olanda).

Problema procedeului de producere a gazului rămîne însă deschisă ; nu s-a ajuns la un punct de vedere comun, apreciindu-se că au perspective fie procedeele termochimice, relativ noi (3.5—2, Spania), fie procedeele de electroliză, care pot fi îmbunătățite (P.P.—3, U.R.S.S.).

Prezintă interes studierea utilizării disponibilului de hidrogen din industria chimică, prin injecția acestuia în actualele sisteme de distribuție a gazelor naturale către populație, în vederea reducerii consumului de gaz metan.

3.6. *Producerea directă de electricitate prin mijloace nemecanice*

Legat de tehnologia generatoarelor MHD (3.6—1, colectiv internațional AIEA), se mențin doi factori de incertitudine privind performanțele generatoarelor MHD cu ciclu deschis, și anume realizarea magnetului supraconductor și a preîncălzitorului de carburant. Raportul P.P.—3 (U.R.S.S.) apreciază că generatoarele MHD cu ciclu închis au perspective mai slabe în comparație cu cele cu ciclu deschis.

3.7. *Conversia și utilizarea gazelor naturale și de facla*

Reflectînd interesul țărilor importatoare de gaze naturale lichefiate, se abordează atît problema instalațiilor de lichefiere (3.7—3, Olanda), cît și a instalațiilor de regazificare (3.7—1, Elveția). La acestea din urmă, este interesantă utilizarea gazelor lichefiate ca sursă rece a unor turbine cu gaze în ciclu închis, cu agent de lucru azot.

3.8. *Practica rafinării țițeiului*

Un raport de sinteză privind modificările care se prevăd în următorii zece ani (3.8—1, S.U.A.), ca și raportul P.P.—3 (U.R.S.S.) menționează ideea prelucrării cît mai avansate a țițeiului, chiar dacă s-ar ajunge la necesitatea utilizării cărbunelui pentru sursele de căldură ale rafinăriilor.

Diviziunea 4 — **Resurse energetice neconvenționale**

În cadrul acestei diviziuni s-au trecut în revistă stadiul de utilizare în prezent și perspectivele de viitor ale energiei solare, incluzînd energia eoliană și a valurilor, energia geotermică și energia de fuziune nucleară. S-a subliniat importanța pe care o are în țările în curs de dezvoltare utilizarea unor resurse neconvenționale de energie ieftine, cum sînt gunoaiele animale pentru producerea de biogaz și importanța utilizării în aceste țări a energiei solare.

Energia solară și energia de fuziune nucleară sînt cele două forme de energie care, după părerea aproape unanimă, deschid cele mai favorabile perspective pe termen mediu și lung.

4.1. *Fuziunea nucleară*

Fuziunea nucleară reprezintă o resursă promițătoare a viitorului, putînd asigura nevoile energetice ale omenirii pentru miliarde de ani. Cercetări în acest domeniu se efectuează în țări dezvoltate din punct de vedere economic, ca : S.U.A., U.R.S.S., Japonia, R.F.G. Se estimează că în jurul anului 1990 primele reactoare demonstrative ar putea deveni operaționale, iar începutul secolului XXI va marca introducerea acestora în circuitul comercial (4.1—1, S.U.A. ; 4.1—2, U.R.S.S).

În S.U.A. s-au alocat în anul 1977, pentru cercetare și dezvoltare în domeniul fuziunii nucleare, 416 mil. $ (4.8—4, S.U.A.), iar în R.F.G. circa 50 mil. $

4.2. *Energia solară*

Analizele efectuate apreciază că numai 1/1000 din radiația solară ar putea acoperi consumul mondial de energie.

Preocupările în acest domeniu se dezvoltă în următoarele direcții :

— Conversia termodinamică a energiei solare. În prezent sînt realizate sau în fază de proiectare centrale solare experimentale, cu investiții specifice ajungînd la 1300 $ /kW (64 kW în funcțiune la Odeillo ; 1000 kW, în fază de proiectare și 3500 kW prevăzuți pentru 1980 în Franța, raportul 4.2—4 ; 100 kW în faza de proiectare în S.U.A.raportul 4.8—4). S-au făcut de asemenea propuneri de utilizare în centralele termoelectrice clasice a sistemelor solare de încălzire, cu rol de preîncălzitor al apei de alimentare (4.2—1, Egipt).

— Conversia directă a energiei solare. Experiența dobîndită în acest domeniu se datorește în principal exploatării celulelor fotovoltaice la sateliții artificiali. Dificultățile actuale ale utilizării pe scară largă a acestora sînt legate de costul prea ridicat 30 000 (10—50000 $ /kWi) și suprafețele mari ce ar trebui ocupate (100 km² pentru 2000 MW). Se apreciază că pentru a putea deveni competitive, costul celulelor fotovoltaice va trebui să scadă de 100 ori față de cel actual, aceasta fiind de așteptat în jurul anului 1990 (4.2—5, Japonia ; 4.8—4, S.U.A. ; 4.8—5, R.F.G. ; 4.8—6, Marea Britanie).

— Încălzirea și răcirea solară a construcțiilor. Utilizarea practică cea mai apropiată ca posibilitate de realizare o reprezintă sistemele solare de încălzire, răcire și alimentare cu apă caldă (4.2—2, Malaezia ; 4.2—3, Australia).

Se estimează că, în jurul anului 2000, 40% din energia necesară sub formă de căldură în Australia va putea fi obținută prin sisteme solare (4.2—3). La prețul actual de 220 $ /m² colector, încălzirea solară devine competitivă cu sistemul electric de încălzire a locuințelor, iar la valori de circa 150 $ /m², aceasta va putea concura cu succes sistemele de încălzire funcționînd pe hidrocarburi.

4.3. *Energia geotermică*

În prezent sînt instalați în centrale geotermice circa 1300 MW, estimîndu-se circa 2000 MW pentru 1980 și 10 000 MW către sfîrșitul secolului.

Exploatarea energiei geotermice urmărește în prezent următoarele direcții :

— Producerea energiei electrice, folosindu-se zăcămintele cu apă la temperaturi peste 130°C. În prezent investițiile în centrale geotermice variază între 320 $ /kW_e la Larderello (4.3—1, Italia) și 670 $ /kW_e în Noua Zeelandă (4.3—2), cele mai mari puteri instalate fiind în S.U.A. — 502 MW, Italia 417 MW și Noua Zeelandă — 190 MW.

— Extragerea de substanțe chimice din zăcămintele geotermice bogate în săruri. În S.U.A. se află în fază de proiectare o centrală geotermică de 10 MW, care va funcționa la o temperatură ridicată, utilizînd o sursă cu salinitate moderată și un ciclu binar (4.8—4, S.U.A).

— Exploatarea energiei geotermice în procese de uscare în legumicultură, horticultură, purificarea sulfului etc. (4.3—2, Noua Zeelandă ; 4.3—3, Indonezia ; 4.8—4, S.U.A.).

— Încălzirea geotermică a clădirilor (4.8—1, ONU ; 4.8—2, India ; 4.8—3, Turcia). In Islanda 46% din locuințe sînt încălzite prin utilizarea energiei geotermice, putîndu-se ajunge chiar la 80% (4.8—7, NORDEL).

4.4. *Energia eoliană*

Utilizarea optimă a energiei eoliene depinde de regularitatea vînturilor și de condițiile în care acest potențial poate fi utilizat.

Se estimează costul actual al energiei eoliene ca fiind cuprins între 1,4 cenți/kWh și 3,6 cenți/kWh (4.4—1, Canada).

Studii recente elaborate în S.U.A. au permis să se prevadă turbine eoliene de 1000—2000 kW (4.8—4, S.U.A.). În prezent există în funcțiune în S.U.A. o turbină experimentală de 100 kW, la viteza vîntului de 8 m/s (4.8—4, S.U.A.) ; în Suedia a fost construită recent o centrală experimentală de 3 kW, fiind în fază de construcție centrale de 6 kW și 50 kW (4.8—7, NORDEL).

Utilizarea energiei eoliene prin agregate de putere mică (10 kW), în așezări rurale izolate, prezintă un interes general în țările în curs de dezvoltare și în acest sens experiența altor țări este importantă și pentru țara noastră.

4.5. *Energia mareelor și a valurilor*

a) *Energia mareelor.* Deși potențialul acestei energii este mare, există o singură centrală maremotrice în lume, construită în 1967 la gura fluviului Rance (Franța), cu o putere de 240 MW. Alte proiecte avute în vedere sînt :

— în Anglia, amenajarea estuarului Severn, pentru o centrală cu o producție de 20 000 GWh/an, la o putere instalată de 4800 MW (4.8—6, Marea Britanie) ;

— în Coreea de Sud, o centrală de 462 MW și 1305 GWh/an ; investiția specifică calculată este 900 $ /kW, iar prețul de cost al energiei 0,020 $ /kWh (4.5—1, Coreea de Sud).

b) *Energia valurilor.* Aceasta reprezintă o sursă importantă de energie, estimîndu-se că aproape jumătate din necesarul de energie electrică al Angliei ar putea fi satisfăcut pe o lungime de 1000 km de ocean (4.8—1, ONU).

4.6. *Alte surse energetice*

a) *Pompa de căldură.* Este utilizată la încălzirea locuințelor și birourilor pentru recuperarea căldurii la temperaturi joase (4.6—1, Franța ; 4.6—2, Belgia)

În prezent în Franța circa 2500 de locuințe sînt încălzite cu pompe de căldură, sursa de căldură fiind aerul viciat din încăperile de locuit sau bucătării. Procedeul se dovedește mai economic decît încălzitul electric (4.6—1, Franța).

b) *Resursele de biogaz, reziduuri menajere.* În India s-au instalat, în ultimii trei ani, circa 7000 uzine de biogaz pe baza gunoiului animal, alte 20 000 de uzine de diferite dimensiuni urmînd să fie instalate în viitor. Există de asemenea ideea combinării uzinelor de biogaz cu dispozitivele de încălzire solară (4.8—2, India), pentru accelerarea procesului de fermentare sau pentru producerea de alge ca materie primă pentru generatoarele de biogaz.

În Suedia s-a construit o instalație-pilot de gazificare a reziduurilor menajere. Astfel de reziduuri au fost estimate în Suedia la circa 4 mil. t/an, iar în Danemarca la circa 2 mil. t/an, 1 mil. t gunoi fiind echivalent cu circa 0,2 mil. t țiței (4.8—7, NORDEL).

Reziduurile menajere mai pot fi utilizate și drept combustibil în centrale termoelectrice. În Turcia sînt în fază de proiectare două asemenea centrale, la Istanbul și Ankara, avînd respectiv 120 MW și 60 MW (4.8—3, Turcia).

c) *Tehnologii noi referitoare la cărbune.* Gazificarea și lichefierea cărbunilor rămîne unul dintre cele mai importante domenii de cercetare și dezvoltare în țările bogate în această resursă (4.8—3, Turcia ; 4.8—5, R.F.G.).

Producerea cocsului din turbă reprezintă o preocupare care și-a găsit rezolvarea în Finlanda, prin construirea unei astfel de uzine (4.8—7, NORDEL).

d) *Energia termică a mării.* Pentru utilizarea pe scară largă a acestui tip de energie, trebuie soluționate încă numeroase probleme tehnice și economice (4.8—1, ONU ; 4.8—4, S.U.A. ; 4.8—5, R.F.G.).

4.7. *Stocarea energiei*

Stocarea, mijloc important de conservare a energiei, poate fi realizată prin mai multe metode :

— stocarea hidraulică, prin centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj (CHEAP), reprezintă în prezent singura metodă în exploatare industrială. În Italia este instalată în CHEAP o putere de 3000 MW, producînd anual circa 7,5 miliarde kWh. În 1980 se va ajunge la 8000 MW, ceea ce va reprezenta 10% din totalul puterii instalate a țării (4.7—3, Italia) ;

— stocarea bazată pe superconductibilitate ;

— stocarea chimică, cu producerea în principal a hidrogenului, prin hidroliză ;

— stocarea aerului comprimat la instalațiile de turbine cu gaze (4.7—1, Canada).

Trebuie menționată ideea că stocarea indirectă a energiei electrice crește utilizarea centralelor nucleare (4.7—3, Italia). Pentru țara noastră, dezvoltarea CHEAP este legată de realizarea și ponderea centralelor nuclearoelectrice.

4.8. *Resurse energetice neconvenționale și perspectivele acestora*

Perspectivele de acoperire a necesarului mondial de energie vizează o utilizare importantă a surselor energetice neconvenționale, înainte de sfîrșitul secolului.

Mai tîrziu, tehnologia energiei de fuziune va aduce probabil soluționarea definitivă a nevoilor energetice ale omenirii.

Adaptarea energeticii la restricțiile tehnice și economice care se pun în prezent reprezintă un proces lent, rezultatele obținute sînt încă modeste, dar pe plan mondial se manifestă un proces vast de „conservare" a energiei.

Rapoartele reflectă importantul efort de cercetare și dezvoltare pentru o mai completă punere în valoare a resurselor energetice, clasice sau noi, și o utilizare mai rațională a acestora.

Spre deosebire de sesiunile anterioare, la Istanbul a avut loc un număr foarte mare de mese rotunde, şedinţe speciale şi şedinţe cu subiecte referitoare la activitatea unor comitete activînd în cadrul CME.

Mesele rotunde au avut următoarele teme de discuţii :
— Modelul energetic al Turciei.
— Cereri şi conservare de energie.
— Resurse de combustibil lichid şi gazos.
— Cooperare internaţională în domeniul energiei.
— Resursele de cărbune.
— Energia nucleară şi neconvenţională.

Şedinţele speciale s-au referit la :
— Resurse hidraulice.
— Folosirea deşeurilor pentru producerea de căldură şi energie electrică.
— Lărgirea domeniului de utilizare a cărbunelui cocsificabil.
— Energia nucleară folosită pentru propulsia maritimă.
— Aspecte economice ale cablurilor supraconductoare.

Au avut loc şi şedinţe de lucru ale următoarelor comitete activînd în cadrul CME :
— Comitetul privind termenii în energetică.
— Comitetul de resurse de energie.
— Comitetul de termoficare.
— Comitetul de disponibilitate a centralelor termoelectrice.

B. MESE ROTUNDE, ŞEDINŢE SPECIALE, ŞEDINŢE ALE COMITETELOR

C. ŞEDINŢA DE ÎNCHIDERE

În cadrul şedinţei de închidere a sesiunii, ţinută în ziua de 23 septembrie 1977, a avut loc preluarea funcţiei de preşedinte al Comitetului executiv internaţional de către prof. H. Mandel — R.F.G., care va deţine această funcţie pînă la sesiunea următoare, a XI-a, care va avea loc la Hamburg — R.F.G.

De asemenea a avut loc preluarea funcţiei de preşedinte al CME, de către dl. Ali Galip Mutdogan, deoarece, conform tradiţiilor organizaţiei, funcţia de preşedinte, care are un caracter onorific, o deţine o personalitate din ţara-gazdă a sesiunii care se încheie.

★

Cea de-a X-a sesiune a Conferinţei Mondiale a Energiei, desfăşurată la Istanbul, a prezentat un interes deosebit, atît prin numărul mare de rapoarte şi discuţii de actualitate, prin nivelul acestora, cît şi prin schimbul de experienţă direct realizat.

Creşterea importantă a preţului ţiţeiului şi apoi a celorlalţi combustibili a creat o serie de dificultăţi majore, atît ţărilor industrializate, cît, mai ales, celor în curs de dezvoltare, impunînd luarea de măsuri pentru economisirea energiei, specifice fiecărei ţări.

Datorită faptului că aproape o treime din resursele energetice existente vor fi consumate pînă în anul 1990, la lucrările acestei sesiuni a CME s-a pus în evidenţă importanţa problemei „conservării" energiei, în sensul cel mai larg al acestei noţiuni. Evitarea risipei de energie, măsuri pentru conservarea energiei, ameliorarea randamentelor proceselor, punerea în valoare a unor resurse energetice clasice şi neclasice — acestea au fost direcţiile principale în jurul cărora s-au grupat căile de rezolvare a diferitelor probleme energetice discutate.

Din rapoartele tehnice prezentate, cît şi din intervenţiile participanţilor la cea de-a X-a sesiune a CME, se desprind următoarele aspecte care ar putea contribui la o mai bună utilizare a energiei în ţara noastră :

— Analizarea proceselor tehnologice cu consumuri mari de energie (siderurgie, chimie, materiale de construcţii), în scopul adoptării de soluţii care să conducă la reducerea acestor consumuri şi promovarea pentru noile obiective industriale a acelor tehnologii care au consumuri de energie minime.

Avînd în vedere actuala conjunctură energetică pe plan mondial şi necesitatea economisirii resurselor interne de energie, este necesar să se analizeze eficienţa la export a unor produse cu consumuri mari de energie, pe baza preţului hidrocarburilor pe piaţa externă.

— Intensificarea acţiunilor de îmbunătăţire a randamentului instalaţiilor de ardere a combustibilului pentru încălzirea locuinţelor, prin reproiectarea şi modernizarea cazanelor de toate categoriile, în conformitate cu Decretele nr. 620/1973 şi 281/1977.

— Creşterea gradului de izolaţie termică a clădirilor (mărirea izolaţiei zidurilor, montarea de ferestre triple, izolarea cu panouri a zidurilor din apropierea surselor de încălzire), în funcţie de sistemele de încălzire utilizate, prin determinarea nivelului optim de izolaţie al fiecărui tip de clădire.

— Îmbunătăţirea parametrilor de consum la aparatele electrocasnice, prin reproiectarea lor şi înlocuirea treptată a aparatelor vechi cu alte aparate moderne, cu consum redus de energie.

— Extinderea încălzirii prin termoficare şi introducerea contorizării căldurii la consumator şi reglarea nivelului de temperatură prin termostat.

— Urgentarea realizării programului de centrale nuclearoelectrice, iar pentru îmbunătăţirea randamentului utilizării energiei primare studierea posibilităţilor de termoficare din aceste centrale.

— În paralel cu realizarea de centrale nuclearoelectrice, devine avantajoasă realizarea de centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj, funcţionînd ca centrale de vîrf şi utilizînd pentru pompare energie electrică produsă de centralele nuclearoelectrice în orele de gol de noapte.

— Valorificarea completă a potenţialului hidroenergetic naţional impune şi realizarea de microhidrocentrale (pentru nevoi locale sau în mediu rural).

— Utilizarea energiei solare şi a energiei geotermice în procese de uscare şi încălzire şi a energiei eoliene pentru producerea de energie electrică, pentru utilizări în agricultură şi în locuri izolate.

— Realizarea prin presă, radio, televiziune şi conferinţe a unei campanii de informare a publicului consumator cu privire la importanţa şi căile de economisire a energiei.

Aceste aspecte ale unei mai bune utilizări a energiei se regăsesc în programul privind măsurile suplimentare de dezvoltare economico-socială a României pînă în 1980 şi în orientările generale cu privire la întocmirea planului cincinal de dezvoltare economico-socială a României în perioada 1981—1985, aprobate de Conferinţa Naţională a Partidului Comunist Român din 7—9 decembrie 1977 şi care stabileşte cadrul dezvoltării în continuare a energeticii în ţara noastră.

Se va pune accent pe utilizarea combustibililor solizi, în principal a lignitului și șisturilor bituminoase, extinderea construcției de centrale hidroelectrice într-o concepție care să asigure amenajarea complexă a potențialului hidroenergetic al Dunării și al riurilor interioare, accelerarea realizării programului de construire a centralelor nuclearoelectrice, restrîngerea și eliminarea treptată a utilizării hidrocarburilor în procesele de ardere.

În același timp, toate ministerele, centralele și întreprinderile trebuie să ia măsuri ferme pentru sporirea randamentelor energetice, modernizarea instalațiilor consumatoare, îmbunătățirea tehnologiilor de fabricație, diminuarea pierderilor și consumurilor tehnologice în centralele electrice și în rețelele de distribuție a energiei electrice, energiei termice și a gazelor naturale, extinderea termoficării industriale și urbane.

Se vor elabora soluții pentru utilizarea de forme noi de energie (solară, geotermică, eoliană), îndeosebi la încălzirea spațiilor industriale, locuințelor și a apei menajere, la sere, în procesele de uscare din industrie și agricultură, la lucrări de irigări etc. Se va extinde utilizarea pompelor de căldură pentru recuperarea unor resurse energetice rezultate din procesele industriale și pentru valorificarea superioară a unor resurse energetice neconvenționale.

Dr. ing. **N. Armeneoiu**

Lista rapoartelor prezentate la a X-a Sesiune a Conferinței Mondiale a Energiei

CIGB T. W. Mermel : Contribuția barajelor la rezolvarea problemelor energetice.

UNIPEDE : Contribuția energiei electrice la rezolvarea problemelor energetice.

CISEE K. Kopecki și J. Marecki : Folosirea rațională a energiei în industrie, în lumina activității Conferinței internaționale asupra energeticii industriale.

IGU J. W. Kerr : Utilizarea rațională a gazelor naturale.

CIGRE Rolul CIGRE în domeniul alimentării cu energie.

P.P.1. C. H. Smith și R. B. Toombs (Canada) : Dezvoltarea resurselor energetice clasice.

1.1—1. D. A. L. Jenkins, D. Northwood, D. N. Simpson și R. C. Walker (Marea Britanie) : Progresele în prospectarea și extracția hidrocarburilor și cărbunilor.

1.1—2. L. Bauer, G. B. Fettweis și W. Fiala (Austria) : Schemele de clasificare și importanța lor pentru evaluarea alimentărilor cu energie.

1.1—3. D. Bongiorni, V. Crico și D. Fenati (Italia) : Probleme de geofizică și de foraj întîlnite în explorarea structurilor profunde din bazinul Padului.

1.1—4. I. I. Iudin, K. I. Mangușev, V. A. Kleșcev, G. I. Grigoraşcenko și A. D. Sedik (U.R.S.S.) : Problemele și particularitățile explorării zăcămintelor de țiței și gaze naturale în regiunile estice ale U.R.S.S.

1.1—5. J. Bosio (Franța) : Mutație în tehnicile off-shore : legătură suplă între fundul fix și suprafața mișcătoare a mării.

1.2—1. R. J. Blackwell (S.U.A.) : Metode de mărire a gradului de recuperare a țițeiului din zăcăminte.

1.2—2. H. Agerhanssen (Norvegia) : Exploatarea țițeiului și gazului în Norvegia.

1.2—3. M. J. Smith (Australia) : Insuficiența tehnologiei actuale de recuperare a cărbunelui din straturi prin metode de minerit subteran.

1.2—4. K. Strzodka (R.D.G.) : Stadiul și dezvoltarea tehnicii de exploatare în carieră în Republica Democrată Germană.

1.2—5. S. B. Ostrovski, A. M. Peatkin, I. V. Liașenko și N. K. Gringo (U.R.S.S.) : Problemele și importanța exploatării industriale a bazinului Kansk-Acinsk, un centru major de combustibil energetic al Uniunii Sovietice.

1.2—6. C. W. Bowman și G. W. Govier (Canada) : Stadiul actual și dificultățile în recuperarea hidrocarburilor din nisipurile bituminoase din Alberta — Canada.

1.2—7. K. Bund, W. Bellingrodt, F. C. Erasmus și R. Lenhartz (R.F.G.) : Exploatarea zăcămintelor de huilă la mare adîncime în Republica Federală Germania.

1.3—1. Gh. Chioreanu, I. Bogdan, N. Gheorghiu, T. Popovici, C. Moțoiu și R. Zbarcea (România) : Realizări și studii privind utilizarea lignitului cu putere calorică mică și a șisturilor bituminoase pentru producerea de energie electrică în România.

1.3—2. D. S. Montgomery, I. I. Inculet, M. A. Bergougnou și J. D. Brown (Canada) : Tehnologii în pat fluidizat electrostatic aplicate la îmbogățirea cărbunelui canadian și separarea cenușii zburătoare.

1.3—3. J. Schmidt și B. Knauth (R.D.G.) : Procese cu o productivitate ridicată pentru fabricarea cocsului la înaltă temperatură din cărbune brun cu putere calorică scăzută.

1.3—4. Naoto Nakamura, Hiroshi Matsuoka și Suekichi Takemura (Japonia) : Tehnica utilizării cărbunelui necocsificabil sau puțin cocsificabil în industria siderurgică din Japonia.

1.3—5. C.A.E.R. : Cîteva probleme cu privire la cooperarea țărilor membre ale CAER în domeniul utilizării combustibililor cu putere calorică mică pentru producerea energiei electrice.

1.3—6. R. W. Urie (Australia) : Dezvoltarea tehnologiei de utilizare a cărbunelui brun din Victoria.

1.3—7. M. Simanovic (Iugoslavia) : Experiența Iugoslaviei de utilizare a resurselor de cărbune cu putere calorică scăzută.

1.4—1. A. Arismunandar (Indonezia) : Disponibilitatea resurselor energetice clasice din Indonezia pentru satisfacerea consumului intern actual și viitor.

1.4—2. Comitetul argentinian al CME : Disponibilitatea resurselor energetice în Republica Argentina pentru satisfacerea consumului actual.

1.4—3. M. Neeman (Israel) : Efectele politicii de prețuri asupra disponibilității țițeiului.

1.4—4. P. W. Stark, G. L. de Wet și J. S. Wolwaardt (Africa de Sud) : Model energetic în Africa de Sud.

1.4—5. E. Eskilsson (Suedia) : Resurse energetice și necesități în Africa la sud de ecuator ; situația energetică în Zambia.

1.4—6. R. Van den Damme (Belgia) : Resursele energetice și producția de energie electrică în Belgia.

1.4—7. J. Eibenschutz, A. Escofet și G. Bazan (Mexic) : Disponibilitatea resurselor energetice în Mexic pentru acoperirea consumului.

1.4—8. L. T. Paradjanin, R. P. Protic, Z. A. Hill și N. J. Djajic (Iugoslavia) : Problemele necesarului viitor și ale asigurării cu energie, vizînd în mod special țările în curs de dezvoltare.

1.4—9. G. Szili, R. Tarjan, G. Földvary și F. Pikler (Ungaria) : Politica energetică a Ungariei și tendințele economiei mondiale.

1.4—10. G. Türgoglu, O. Z. Demiray și S. Kiciman (Turcia) : Producția de energie electrică a Turciei pe termen lung.

1.4—11. L. K. Ceen (Taiwan) : Programul de dezvoltare energetică pentru satisfacerea necesarului de energie în Taiwan.

1.4—12. M. Grenon (IIASA) : Prezentarea sistematică a exploatării resurselor energetice.

1.4—13. Fr. Gutierrez, J. Jones Parra și A. Gonzales (Venezuela) : Necesitățile tehnologice impuse de producerea și ameliorarea țițeiului foarte greu din Orinoco.

1.4—14. Hasan Halet Işikpinar (Turcia) : Perspectivele energiei electrice în Turcia pentru anul 2000.

P.P.—2. Sir W. Hawthorne (Marea Britanie) : Conservarea în utilizarea energiei.

2.1—1. W. Sroczynski și A. Szpilewicz (Polonia) : Consumul total de energie pentru fabricarea de materiale de construcții și pentru construirea de mari blocuri de locuințe.

2.1—2. B. C. Netschert (S.U.A.): Conservarea energiei în industria S.U.A.

2.1—3. Nina Holmström, M. Hojeberg și U. Norhammar (Suedia) : Conservarea energiei în industria suedeză.

2.1—4. R. S. Hackett și W. A. Lloyd-Dodd (Marea Britanie): Rolul gazului în utilizarea eficace a combustibililor fosili în industrie.

2.1—5. U. P. Koritnikov, J. M. Kratenko, R. B. Ahmedov, D. S. Șurakov, A. M. Serdinov, G. M. Ermolov și A. P. Petrakovski (U.R.S.S.) : Mijloacele principale pentru o utilizare rațională în viitor a resurselor naturale de combustibil și energie și reducerea pierderilor de energie și combustibil în timpul transformării, transportului și consumului.

2.1—6. Sren Klokhj (Danemarca) : Studiul consumului de energie în industria daneză.

2.2—1. J. Holmberg, S. Haol, N. E. Lindskog și H. Nyborg (Suedia) : Măsuri de economisire a energiei în clădirile suedeze.

2.2—2. R. Bösch, M. Herbst și R. Minder (Elveția) : Dezvoltarea unui plan de încălzire a orașelor.

2.2—3. M. F. Barabas și J. Carr (Canada) : Efectul încălzirii electrice cu acumulare asupra structurii energetice în preeriile canadiene.

2.2—4. Nobuyuki Makimura, Shunichi Kurosawa și Toshio Ito (Japonia) : Economia de energie în sectoarele comercial și casnic în Japonia.

2.2—5. J. Gabrielsson (Finlanda) : Fereastra cu aspirație de aer, o metodă pentru o mai bună economisire a căldurii în imobile.

2.2—6. Evald Brnd și Niels Moe (Danemarca) : Măsuri posibile de economisire a energiei în sectorul casnic în Danemarca.

2.2—7. G. W. Brundrett, S. J. Leach, M. J. Parkinson, G. A. Pickup și H. T. Rees (Marea Britanie) : Cercetări asupra conservării energiei în locuințe.

2.3—1. L. Paris și M. Valtorta (Italia) : Conservarea energiei electrice și influența ei asupra transmiterii și interconexiunii în foarte înaltă tensiune.

2.3—2. H. Castro, E. S. Cohen, C. Grimoldi și J. C. Karacsonyi (Argentina) : Sistemul de transport în marele Buenos Aires.

2.3—3. H. Rollet (Franța) : Schimbătoare de căldură pentru turbinele cu gaze din tracțiunea feroviară.

2.3—4. R. A. Bazii și I. Berger (Argentina) : Aspecte tehnice și economice ale transportului gazului în Republica Argentina.

2.3—5. J. Lukasiewicz (Canada) : Alternative pentru energia în transporturi în America de Nord : estimarea experienței trecute și a posibilităților viitoare.

2.4—1. J. A. Tatchell și D. A. Lewis (Marea Britanie) : Unii factori energetici și chimici în creșterea plantelor și animalelor pentru alimente.

2.4—2. Güngör Yavuzcan (Turcia) : Studii asupra caracteristicilor tehnice și economice ale electrificării fermelor agricole în Turcia.

2.5—1. K. Bauermeister, Ch. Brecht, H. Schaefer și B. Stoy (R.F.G.) : Utilizarea rațională a energiei pe baza exemplului transportului feroviar și a încălzirii la joasă temperatură.

2.5—2. Anan Atilaksana (Tailanda) : Politica de conservare a energiei electrice și efectul acesteia asupra consumului, tarifelor și economicității societății de electricitate din Tailanda.

2.5—3. D. K. Bosee, K. K. Murthy, V. P. Thakor și L. V. Nagarajan (India): Conservarea energiei într-o economie în curs de dezvoltare: India.

2.5—4. Nazrul Islam și Russel J. Delucia (Bangladesh): Planificarea în sectorul energetic într-o țară în curs de dezvoltare; necesități generale și rezolvări specifice în Bangladesh.

2.5—5. J. Molina, G. Martinez, F. Mejon, J. M. Fluxa și J. Ruiz (Spania) : Funcția sistemului energetic în alimentarea cu energie în Spania.

2.5—6. Yoshinobu Nagano (Japonia) : Structura energetică viitoare și efectul alegerii combustibililor în industria energiei electrice a Japoniei.

2.5—7. M. Allion și H. Ehringer (CEE) : Programele Comunității Economice Europene privind utilizarea rațională a energiei și cercetare în domeniul economiei de energie.

2.5—8. R. W. Hubbard (Noua Zeelandă) : Rolul administrației distribuției în conservarea energiei electrice.

2.5—9. Sl. Odehnal (Cehoslovacia) : Căi de raționalizare a utilizării combustibililor și energiei în economia Cehoslovaciei.

P.P—3. M. A. Stîrikovici (U.R.S.S.) : Conversia energiei primare.

3.1—1. N. T. van der Walt și B. W. Graber (Africa de Sud) : Centrala hidroelectrică de acumulare prin pompare Drakensberg.

3.1—2. R. Janiczek, A. Matczewski și L. Nehrebecki (Polonia) : Combinate energetice ca surse complexe de energie pentru alimentarea marilor aglomerații urbane și industriale.

3.1—3. A. D. Dainton și P.C.Finlayson (Marea Britanie): Arderea în pat fluidizat a combustibililor inferiori.

3.1—4. J. Lev-Er, A. Peer și A. C. Finlayson (Israel): Îmbunătățirea disponibilității și randamentului cazanelor pe păcură prin reducerea depunerilor și a coroziunii cauzate de gazele de ardere.

3.1—5. K. Knizia, G. Hirschfelder, D. Scharzz și K. Weinzierl (R.F.G.) : Îmbunătățiri în tehnicile de transformare a energiei.

3.1—6. A. M. Cavaco și L. Honorio (Portugalia) :Incidența amenajărilor cu scopuri multiple asupra valorificării resurselor hidroenergetice.

3.1—7. Ünal Öziş (Turcia) : Dezvoltarea maximă a resurselor hidroenergetice.

3.1—8. N. Todoriev și A. Gheorghiev (Bulgaria) : Modernizarea centralelor termoelectrice ca mijloc pentru o ardere mai eficientă a cărbunelui și o mai bună utilizare a resurselor de cărbune.

3.1—9. I. Fenyves, K. Grahovszky și S. Pal (Ungaria): Noi căi de creștere a competitivității centralelor termoelectrice pe lignit.

3.1—10. P. Darvarov și S. Iliev (Bulgaria): Utilizarea energiei rîurilor de munte în R. P. Bulgaria.

3.2—1. Mitsuo Saitoh și Shunzo Takenaka (Japonia) : Avantajele producerii UF_4 prin procedeul PNC.

3.2—2. H. H. Frewer și W. Mattick (R.F.G.): Avantajele standardizării din punct de vedere economic și de siguranță.

3.2—3. A. J. Wagner, J. P. Darling, D. G. Powell și J. H. Williams (S.U.A.) : Introducerea energiei nucleare ca sursă nouă de energie.

3.2—4. A. N. Grigorianț, V. V. Dolgov, E. V. Kulov, M. E. Minașin, V. A. Porfiriev, V. N. Sarapov și D. V. Pupkov (U.R.S.S.) : Experiența în construcția, punerea în funcțiune și exploatarea centralei nucleare de termoficare Bilibino.

3.2—5. Turhan Hifzi Evcimen și Muammer Cetincelik (Turcia) : Importanța minereurilor radioactive (uraniu și thoriu) pentru producerea de energie nucleară în viitor în Turcia.

3.2—6. P. Kelly (OECD) : Experiența Agenției Internaționale pentru Energie în problemele de economisire a energiei.

3.2—7. G. Vendreyes, M. Banal și J. C. Leny (Franța): Stadiul actual și perspectivele reactoarelor cu neutroni rapizi.

3.2—8. R. D. Vaughan, C. Buck și T. N. Marsham (Marea Britanie) : Importanța practică a reactoarelor rapide reproducătoare ca sursă de energie.

3.2—9. Ko Takeda (Japonia): Stadiul actual al centralelor nucleare în Japonia.

3.2—10. J. E. Lesure, D. A. Watson, R. Wilson și G. A. Vivian (Canada) : Programe de reducere a dozelor de radiații pentru CNE CANDU.

3.2—11. C. J. Kim (Coreea de Sud) : Prezentarea programului de CNE în Coreea.

3.2—12. P. S. Neporojnii, N. A. Dolejal, L. A. Melentiev, A. A. Bestcinsky, K. D. Lavrenenko, A. A. Makarov și S. N. Iatrov (U.R.S.S.): Modificări structurale ale

bilanțului energetic al U.R.S.S. și rolul energiei nucleare.

3.3—1. N. Mănescu, N. Armencoiu, C. Dinculescu, N. Vasilescu și D. Rențea (România) : Realizări și perspective ale producerii combinate de căldură și energie electrică în România.

3.3—2. K. P. Eichner, L. Liebert, H. Munser, W. Schiering, K. Walter și H. G. Weidlich (R.D.G.) : Aplicarea termoficării pentru alimentarea cu căldură a orașelor, luînd în considerație cerințele privind manevrabilitatea în producerea energiei electrice.

3.3—3. H. Schulte (R.F.G.) : Producerea combinată de căldură și energie electrică ca mijloc de economisire a energiei primare.

3.3—4. K. Kirvela, R. Perander și P. Rouhiainen (Finlanda) : Centrala nuclearoelectrică de termoficare pentru alimentarea cu căldură pentru încălzire urbană și pentru procese tehnologice.

3.3—5. P. Almquist, S. Groop și A. Persson (Suedia) : Centrale nuclearoelectrice pentru producerea combinată de energie electrică.

3.3—6. S. Andrzejewski, M. Archutowski, K. Czwiertnia, R. Hardejewski și J. Portacha (Polonia) : Probleme legate de introducerea centralelor nuclearoelectrice de termoficare într-un sistem energetic.

3.3—7. I. I. Sokolov, V. I. Savin, M. M. Pik, V. I. Vodicev și I. I. Beninson (U.R.S.S.) : Dezvoltarea termoficării prin mari centrale de termoficare.

3.3—8. CEE—ONU : Recuperarea căldurii reziduale de la centralele termoelectrice clasice și nucleare și utilizarea ei în industrie și pentru încălzirea clădirilor.

3.4—1. S. B. Alpert, D. F. Spencer și A. Flowers (S.U.A.) : Utilizarea cărbunelui în sistemele avansate de producere a energiei electrice și a gazelor naturale.

3.4—2. W. Peters, R. Schulten și P. Speich (R.F.G.) : Disponibilități viitoare de hidrocarburi lichide și gazoase prin gazificarea cărbunilor și perspectivele pe termen lung pentru o tehnologie a hidrogenului.

3.4—3. T. Ribesse (Belgia) : Hidrogazificarea „în situ" a cărbunelui — sursă potențială de gaze naturale sintetice în viitor.

3.4—4. M. Macura, K. Prasek, și B. Konrad, (Cehoslovacia) : Gazificarea sub presiune a cărbunelui în Cehoslovacia.

3.5—1. B. Sale și Y. Breelle (Franța) : Aplicații ale pilei hidrogen-aer.

3.5—2. A. Sevilla, F. Garcia, C. Sanchez Tarifa, E. Fraga și A. Crespo (Spania) : I. Reactoare nucleare pentru producția de hidrogen. II. Hidrogen-combustibil : unele aspecte ale arderii hidrogenului.

3.5—3. A. J. Bogers și J. Quakernaat (Olanda) : Rolul posibil al hidrogenului în sectorul de alimentare cu energie al Olandei.

3.5—4. S. Kabac și T. N. Veziroglu (Turcia) : Producția de hidrogen ca mijloc de acumulare a energiei.

3.6—1. A. E. Seindlin, W. D. Jackson, W. S. Brzozowski și L. H. Th. Rietjens (IAEA) : Producerea prin MHD a energiei electrice.

3.7—1. D. Schmidt (Elveția) : Instalații de gazificare a gazelor naturale lichefiate combinate cu turbine cu gaz.

3.7—2. F. Huler (Austria) : Metodă de optimizare pentru sistemele de distribuție a gazelor.

3.7—3. M. J. Pikaar și A. C. Timmers (Olanda) : Aspecte de proiectare a instalațiilor de lichefiere a gazelor naturale.

3.8—1. H. Beuther și R. T. Sebulsky (S.U.A.) : Rafinăria în curs de modificare 1977—1987.

3.8—2. S. Suzuki, T. Takeucki, S. Nire și R. Takahashi (Japonia) : Cracarea termică a asfaltului cu abur supraîncălzit.

P.P—4. Bailly du Bois (Franța) : Resurse neconvenționale de energie — studii de dezvoltare.

4.1—1. J. A. Phillips (IAEA) : Dezvoltări recente în fuziunea nucleară.

4.1—2. E. P. Velikov și B. B. Kadomțev (U.R.S.S.) : Fuziunea termonucleară : probleme și perspective.

4.2—1. Kamal Cobar și Kamal Hamed (Egipt) : Metode de utilizare economică a energiei solare la sol.

4.2—2. Donald G. S. Chuah, S. K. Tan, Chatar Singh, R. Ratnalingom și C. K. Koh (Malaezia) : Energie solară pentru electrificarea rurală în Malaezia.

4.2—3. R. N. Morse (Australia) : Încălzirea solară ca sursă majoră de energie pentru Australia.

4.2—4. M. Clemot, B. Dessus, C. Etievant și F. Pharabod (Franța) : Centrale electrice solare : realizări și proiecte franceze.

4.2—5. Hisao Kobayashi (Japonia) : Dezvoltarea tehnică a utilizării energiei solare în Japonia.

4.3—1. T. Leardini (Italia) : Evaluarea resurselor geotermice și costul energiei geotermice.

4.3—2. R. S. Bolton și F. E. Studt (Noua Zeelandă) : Investigarea și dezvoltarea resurselor geotermice din Noua Zeelandă.

4.3—3. Vicent T. Radja (Indonezia) : Dezvoltări recente ale utilizării resurselor de energie geotermică la Kawah Kampojang, Iava de vest, Indonezia.

4.4—1. P. South. R. S. Rangi și R. T. Templin (Canada) : Aplicații ale turbinelor eoliene în Canada.

4.4—2. L. E. Olsson și L. Machta (OMM) : Meteorologia și utilizarea energiei eoliene și solare.

4.4—3. J. Pelser (Olanda) : Posibilitatea de utilizare a energiei eoliene pentru producerea energiei electrice.

4.5—1. Yong Won John (Coreea de Sud) : Proiecte de centrale maremotrice pe coasta de vest în Coreea de Sud.

4.5—2. N. Ambli, K. Budal, J. Falnes și A. Sorenssen (Norvegia) : Utilizarea energiei valurilor printr-un șir de geamanduri funcționînd optimizat.

4.6—1. H. Michel, J. Pottier și J. Jaegle (Franța) : Pompe de căldură cu compresie și absorbție. Domeniu de utilizare și perspective.

4.6—2. B. Geeraert și F. Pietermaat (Belgia) : Considerații generale asupra aspectelor energetice ale pompei de căldură utilizate pentru încălzirea imobilelor.

4.6—3. A. B. Karki și B. A. Coburn (Nepal) : Perspectiva biogazului ca o sursă de energie în Nepal.

4.7—1. Ph. G. Hill și R. D. Chirs MacMillan (Canada) : Sisteme de acumulare a energiei pentru producerea energiei. O analiză termodinamică și economică.

4.7—2. J. Colonna și M. Dussaud (Franța) : Înlocuirea parțială a gazului pernă convențional cu gaz inert, în acumulările acvifere.

4.7—3. A. M. Agelini (Italia) : Stocarea ca un mijloc important de îmbunătățire a conservării energiei.

4.8—1. Essam El. Hinnawi (UNEP) : Energia, mediul înconjurător și dezvoltarea.

4.8—2. C. L. Gupta, V. R. Narasimhan, S. Parameshwaran și S. Viswanathan (India) : Energia din resursele neconvenționale în țări tropicale în curs de dezvoltare.

4.8—3. Mustafa Özcan, Ültanir și Muammer Cetincelik (Turcia) : Noi surse de energie ce vor înlocui combustibilii utilizați în prezent în Turcia și în alte țări în curs de dezvoltare.

4.8—4. Donald A. Beattie, James C. Bresee, Martin J. Cooper, Lloyd O. Herwig și E. E. Kinther (S.U.A.) : Sursele neconvenționale de energie devin convenționale.

4.8—5. Wolf I. Schmidt Küster (R.F.G.) : Tehnologii noi în energetică.

4.8—6. H. F. Wagner, L. H. Leighton, J. K. Wright și J.J. Syrett (Marea Britanie) : Potențialul surselor neconvenționale de energie din Marea Britanie.

4.8—7. Comitetul de planificare NORDEL : Producția de energie neconvențională.

NOTĂ. Denumiri ale unor organizații internaționale :

CIGB — Conferința Internațională a Marilor Baraje
IGU — Uniunea Internațională a Gazului
IIASA — Institutul Internațional pentru Analize de Sistem Aplicate
OECP — Organizația Economică de Cooperare și Dezvoltare
IAEA — Agenția Internațională pentru Energia Atomică
OMM — Organizația Meteorologică Mondială
UNEP — Programul Națiunilor Unite pentru Mediul Înconjurător

Recenzii

V. I. NITU. **Bazele teoretice ale energeticii.** Editura Academiei R.S.R., București, 1977, 285 p.

Abordînd într-o viziune sistemică și o concepție unitară problemele dezvoltării energetice, plecînd de la resurse și terminînd cu consumurile, cartea prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu intitulată *„Bazele teoretice ale energeticii"* este prima de acest gen în literatura tehnică din țara noastră și, după cît se cunoaște, printre primele lucrări de acest fel din lume.

Valorificînd experiența acumulată de autor în cadrul ISPE, precum și numeroasele publicații ale specialiștilor români și străini, lucrarea tratează organizat și sintetic problemele energeticii în contextul economiei naționale, prezentînd în acest scop metode și modele matematice pentru prognoză și optimizări, pentru tehnologiile și resursele energetice noi care vor fi folosite în viitor, pentru proiectarea dezvoltării energetice.

Toate acestea aduc în primul rînd o contribuție deosebit de valoroasă la pregătirea, fundamentarea și luarea deciziilor în domeniul energetic, începînd cu deciziile operative și terminînd cu adoptarea strategiilor ce trebuie urmate în politica energetică de perspectivă.

Cartea conține 12 capitole, fiecare capitol fiind urmat de bibliografie. Față de amploarea problematicii abordate, lucrarea are un număr relativ mic de pagini și, cu toate acestea, ea are meritul de a acoperi aproape în întregime aria problemelor cu care se confruntă dezvoltarea energetică actuală și de perspectivă.

Astfel, cap. 1 tratează problemele de dezvoltare energetică a societății, precum și implicațiile economice și sociale ale acestei dezvoltări. Luînd în considerare faptul că dezvoltarea societății este direct dependentă de consumul de energie, în acest capitol se prezintă principalele corelații statistice între consumul de energie și creșterea populației, respectiv între consumul de energie și creșterea venitului național, produsului social etc., precum și corelarea indicatorilor dezvoltării bazei energetice și a economiei naționale.

Cap. 2 prezintă metodele de prognoză în energetică. Plecînd de la importanța și necesitatea folosirii metodelor de prognoză în energetică, după clasificarea acestora, se trece la prezentarea metodelor de prognoză în energetică : metode bazate pe extrapolare (extrapolarea elementară, liniară, exponențială și logistică), modele condiționale (de corelare) de prognoză, metode analitice, precum și metoda discuțiilor între elaboratorii prognozei și diferiți specialiști personalități în domeniu (metoda Delphi).

Capitolul se încheie cu considerații privind precizia prognozelor.

Cap. 3 include metodele de inventariere și prognoză a resurselor energetice. Avînd în vedere faptul că inventarierea resurselor energetice reprezintă fundamentul material al politicii energetice a unei țări, capitolul tratează clasificarea, confirmarea și evidența rezervelor de combustibil, termenul de epuizare și termenul de asigurare a rezervelor de combustibil, precum și problema predeterminării ritmurilor de exploatare a surselor de combustibili fosili.

Cap. 4 abordează problema bilanțurilor și a balanțelor energetice. După ce se fac la început considerații metodologice, sintetice, dar destul de cuprinzătoare cu privire la bilanțurile și balanțele energetice, se trece la tratarea randamentelor instalațiilor energetice, a indicatorilor tehnico-economici ai sistemului energetic, a randamentului conversiei sau transformării energetice, a randamentului transportului, distribuției și stocajului și în sfîrșit a utilizării energiei (în transporturi, în industrie și în sectorul edilitar și casnic). Capitolul se încheie cu analiza dinamicii indicatorilor bilanțurilor și balanțelor energetice.

Este de semnalat faptul că n-ar fi fost lipsit de interes dacă în cadrul tratării randamentelor în domeniul utilizării energiei s-ar fi făcut și referiri cu privire la utilizarea energiei în agricultură (irigații, zootehnie etc.).

Cap. 5 tratează concepția sistemică a dezvoltării energetice—energocibernetica.

Făcîndu-se la început referiri la conceptul de sistem și la teoria sistemelor, se trece apoi la definirea sistemului electroenergetic și a sistemului energetic, ajungîndu-se în final la obiectul studiului energocibernetic.

În continuare în cadrul capitolului se prezintă implicațiile economice ale dezvoltării energetice și concepția sistemică a dezvoltării energetice, după care sînt prezentate principalele cerințe ale sistemelor energetice : fiabilitatea alimentării cu energie electrică și economicitatea sistemelor energetice exprimată prin indicatorii tehnici și economici.

Capitolul se încheie cu prezentarea noilor orientări în exploatarea sistemelor energetice.

Cap. 6 se ocupă de metodologia calculelor economice referitoare la alegerea variantei optime de realizare a obiectivelor energetice.

După analiza criteriilor de optimizare (absolute și derivate) se trece la prezentarea metodelor de calcul economic privind alegerea variantei optime de realizare a obiectivelor energetice : metoda duratei de recuperare a investiției totale (absolute), metoda cheltuielilor anuale de calcul, Z, și metoda cheltuielilor totale actualizate.

În încheierea studiului referitor la metodele de calcul economic ale dezvoltării energetice se abordează problema sensibilității tehnico-economice a soluțiilor și a intervalelor de valabilitate.

Se dă apoi un exemplu de calcul privind determinarea secțiunii economice a conductoarelor liniilor electrice pe baza studiilor elaborate în ISPE (studii concretizate în prescripția M.E.E.—PE 135/75 — Instrucțiuni privind determinarea secțiunii economice a conductoarelor din instalațiile electrice de distribuție de 1—110 kV).

În continuare, cap. 6 se ocupă de problema alimentării cu căldură a consumatorilor industriali și urbani, iar în final cu utilizarea lanțurilor Markov la efectuarea calculelor economice în energetică.

Cap. 7 se ocupă de amenajarea cursurilor de apă din R. S. România. Problematica abordată de acest capitol are un pronunțat caracter practic, concret : resursele și cerințele de apă, principii de amenajare a apelor, valorificarea energetică a resurselor de apă, amenajări hidroenergetice în zone de munte cu centrale de mare putere dimensionate ca centrale de vîrf, amenajări hidroenergetice cu centrale de vîrf și semivîrf dispuse în cascadă, pe cursurile mijlocii și inferioare ale rîurilor interioare din R.S. România și în sfîrșit amenajarea Dunării, principala resursă de apă a țării.

Capitolul se încheie cu referiri privind valorificarea complexă a resurselor de apă din R. S. România (alimentări cu apă, irigații, navigație etc.).

Cap. 8 este destinat metodelor de optimizare utilizate în energetică.

Modelele economice folosite pentru alegerea variantei optime prezentate în capitolul 6 nu permit luarea în considerare a numeroaselor variabile și restricții care intervin în analizele concrete privind planificarea, dezvoltarea și exploatarea sistemului energetic.

Toate acestea implică necesitatea optimizării matematice în sensul realizării unor cheltuieli de investiții și exploatare minime, în condițiile satisfacerii cererilor de energie ale consumatorilor la un nivel de siguranță impus.

În acest sens, în cadrul acestui capitol este prezentat modul de utilizare a diferitelor metode de programare matematică pentru rezolvarea problemelor de planificare a dezvoltării și exploatării sistemului energetic : utilizarea multiplicatorilor Lagrange (la repartiția optimă a puterilor între centralele sistemului energetic și la optimizarea tensiunilor pentru realizarea unor pierderi minime în rețele), utilizarea programării liniare (la planificarea dezvoltării centralelor sistemului energetic, a rețelelor de transport al energiei electrice, la exploatarea sistemului energetic și la rezolvarea problemelor de transport), utilizarea programării dinamice (la planifi-

carea dezvoltării sistemului energetic), utilizarea programării stocastice și în sfîrșit utilizarea teoriei grafurilor.

Cap. 9 include problematica privind noile tehnologii de producere a energiei electrice, precum și atragerea de noi surse energetice (nevalorificate sau slab valorificate pînă în prezent) în circuitul energetic.

Astfel, în cadrul capitolului sînt abordate problemele energeticii nucleare, ale ciclurilor magnetohidrodinamice și ale pilelor de combustie și termoelectrice.

În continuare sînt prezentate soluții eficiente în producerea energiei electrice și căldurii (cicluri mixte și folosirea pompelor de căldură în scopul valorificării căldurii din medii cu temperatură mai scăzută prin cedarea acesteia altui mediu cu temperatură mai ridicată), precum și noile surse de energie (energia solară, energia eoliană, energia geotermică, energia mărilor și oceanelor și valorificarea deșeurilor menajere).

Capitolul se încheie cu studiul purtătorilor de energie cu eficiență maximă în viitor (hidrogenul și metanolul).

Cap. 10 cuprinde grupul de probleme legate de fiabilitatea în alimentarea cu energie a consumatorilor, precum și problema stocării energiei — cale de creștere a siguranței și economicității în alimentarea cu energie.

După ce se definește fiabilitatea ca știință, se trece la studiul consecințelor întreruperii în alimentarea cu energie și apoi la principiile de alimentare cu energie a consumatorilor urbani și industriali. Facem și aici remarca cu privire la necesitatea luării în considerare și a consumatorilor argicoli.

În continuare sînt prezentate principiile de asigurare cu energie primară și posibilitățile de stocare a energiei (stocarea gazelor și produselor lichide, stocarea combustibililor primari solizi, stocarea căldurii, stocarea aerului comprimat, stocarea energiei cinetice, stocarea căldurii prin schimbarea stării de agregare, stocarea hidrogenului).

Cea de-a doua parte a cap. 10 al lucrării cuprinde metodele matematice utilizate la calculele de siguranță în funcționarea instalațiilor energetice : metoda binomială, metoda Monte Carlo, metode avînd la bază procese stocastice și metode pentru calculul stocurilor de energie.

Capitolul se încheie cu studiul optimizării instalațiilor energetice cu luarea în considerare a siguranței în funcționare.

Cap. 11 abordează problematica optimizării dezvoltării sistemului electroenergetic. După prezentarea evoluției sistemului electroenergetic al R. S. România, se trece la studiul curbelor de sarcină ale sistemelor energetice și ale întreprinderilor industriale. În continuare sînt prezentate tehnicile aplatisării curbelor de sarcină : aplicarea de tarife în mod adecvat, utilizarea consumatorilor-tampon (consum reglabil) și măsuri administrative de raționlizare a consumului. Se prezintă apoi problema optimizării structurii centralelor electrice în perspectiva dezvoltării unui sistem energetic și în final problema eficienței interconexiunii sistemelor (reducerea rezervelor de putere pentru incidente de exploatare, mărirea siguranței în funcționarea sistemului, reducerea rezervelor de putere pentru reparații planificate, reducerea rezervelor de putere pentru abaterea sarcinii față de valoarea planificată, posibilitatea măririi puterii unitare a agregatelor).

Ultimul capitol al lucrării, cap. 12, este rezervat problemelor de proiectare a dezvoltării sistemului energetic.

În cadrul capitolului sînt abordate etapele care trebuie parcurse în proiectarea dezvoltării optime a sistemelor energetice : inventarierea resurselor energetice în vederea stabilirii rezervelor exploatabile, prognoza necesarului de energie a societății, optimizarea proporțiilor de participare a purtătorilor de energie la acoperirea necesităților energetice ale societății, limitarea tendințelor de poluare a mediului înconjurător și în final proiectarea subsistemelor energetice. În cadrul subcapitolului aferent proiectării subsistemelor energetice se prezintă metodele practice de optimizare a sistemului electroenergetic cu compartimentele de suboptimizare : prognoza consumului de energie electrică, stabilirea programului de dezvoltare a centralelor electrice (inclusiv optimizarea rezervelor de putere în sistemul centralelor electrice) și stabilirea programului de dezvoltare a rețelelor electrice (dezvoltarea configurației rețelelor de înaltă tensiune și modelele matematice de selectare a configurațiilor optime : modele bazate pe programarea liniară, modele bazate pe simulare, model pentru determinarea gradului de siguranță bazat pe metoda lanțurilor Markov).

În finalul cap. 12 se trag concluzii cu privire la proiectarea sistemelor energetice ale viitorului văzut în două etape : pînă în anul 1985 și etapa 1985—2000.

Trecerea sumară în revistă a conținutului lucrării pune în evidență faptul că aceasta se situează la granița dintre energetică ca disciplină tehnică și economia energeticii ca disciplină economică, în care aportul instrumentului matematic modern o situează la un înalt nivel științific.

Se poate afirma că lucrarea se adresează în egală măsură atît inginerului specialist în energetică, cît și economistului specializat în problemele energeticii.

Cultivînd gîndirea sistemică și probabilistă cu privire la perspectivele energeticii, cartea orientează cititorul de specialitate în înțelegerea și rezolvarea problemelor complexe care apar în acest domeniu.

Fără îndoială că după publicarea, în aceeași editură, în 1973 a lucrării „Fiabilitatea instalațiilor energetice", prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu a dat prin „Bazele teoretice ale energeticii" o nouă, prestigioasă și utilă lucrare, care completează un gol resimțit în literatura tehnică de specialitate din țară și din străinătate, lucrare pe care energeticienii o așteptau.

Ing. R. Stiehl

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția : București, Str. Doamnei 14—16 Sectorul 4. Telefon : 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi : lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale : lei 30 anual. Prețul unui exemplar : 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I. P. I. c. 223

41 461

1978 AUG 24

E 2039

Viaton

MW

3

REFERALVA

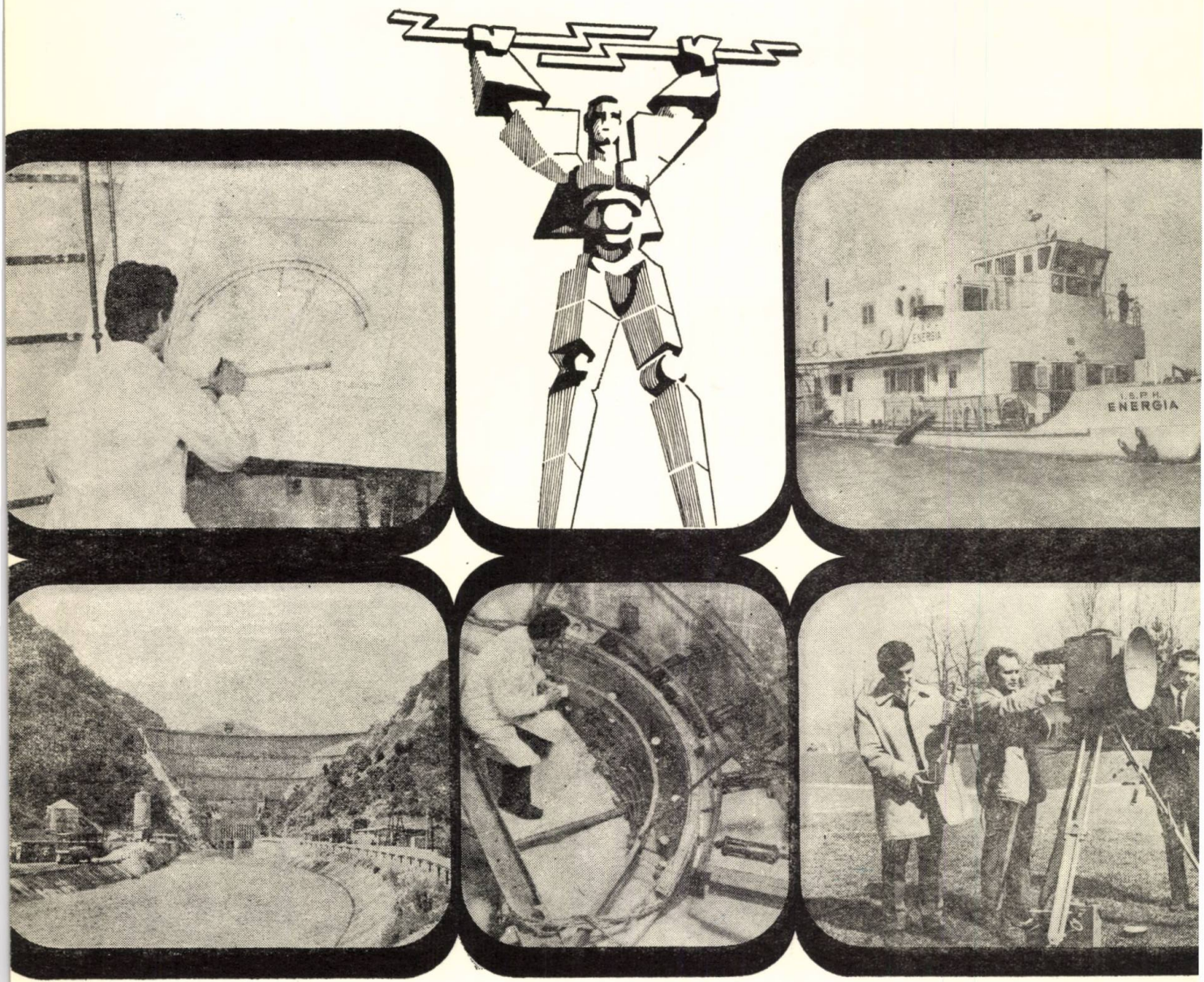
energetica

VOLUMUL XXVI
BUCUREŞTI
MARTIE 1978

0 6 12 18 24

ISPH

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



I. S. P. H. Designing Institute with complex profile offers :

- **Consulting-engineering for hydroelectrical power developments**
- **Studies and designs**
  - dams
  - tunnels, canals, conduits
  - hydroelectric power stations
  - pumping stations
  - locks
- **Topographical and geodetical survey**
- **Investigations and field studies**
  - hydrology, hydraulics
  - geology, geotechnics, hydrogeology
  - soil and rock mechanics
  - geophysics
  - drillings
  - mining works
- **Laboratory tests**
  - structural and photoelastic mo
  - hydraulic models
  - concrete technology
  - materials for earth and rock-fill dams

I. S. P. H.

BUCUREŞTI , Bd. Republicii 29 , Tel. 14 72 7o , Telex oll-443

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 3 martie

Cuprinsul

I. Bolma, G. Chercea, G. Frăsineanu şi *C. Schuman*	**Polinoame pentru calculul unor proprietăţi hidrodinamice şi termodinamice ale aerului şi gazelor de ardere**	99—100
M. G. M. Pop, Ec. Ursu şi *D. Manea*	**Evaluarea probabilistică a efectului pulsaţiilor de temperatură cu amplitudini mici şi frecvenţă mare asupra duratei de viaţă a colectoarelor cazanelor de abur**	101—104
L. Mihăescu	**Arzătoare turbionare de praf de cărbune ; influenţa parametrilor constructivi şi funcţionali asupra posibilităţilor de echipare a focarelor de dimensiuni reduse**	105—111
Liana Turcu	**Siguranţa în funcţionare a metalului conductelor de abur după expirarea duratei teoretice de utilizare**	111—116
L. Hajos	**Aspecte ale insularizării platformelor industriale**	116—123
L. M. Goia	**Consideraţii privind deschiciurarea liniilor electrice aeriene**	123—129
M. Dianu	**Posibilitatea utilizării traductoarelor de variaţie de temperatură la protecţia de incendiu a preîncălzitoarelor rotative de aer**	130—131
CRONICĂ	**Conferinţa Internaţională a Marilor Reţele Electrice de Înaltă Tensiune (CIGRE)**	
RECENZII		

I .P.I. c. 261

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice

Polinoame pentru calculul unor proprietăți hidrodinamice și termodinamice ale aerului și gazelor de ardere

Ing. I. Bolma
Ing. G. Chercea
Matem. G.Frăsineann
Ing. C. Schuman*)

În cadrul ICEMENERG s-a întocmit un set de subprograme destinat asamblării unui program de calcul termic de verificare a cazanelor de abur. O problemă importantă la realizarea lor a constituit-o stabilirea unor formule pentru determinarea unor proprietăți hidrodinamice și termodinamice ale agenților termici.

În ceea ce privește proprietățile fizice ale aerului și gazelor de ardere care intervin la efectuarea calculelor termice, căldura specifică, viscozitatea dinamică și conductivitatea termică, avîndu-se în vedere că acestea sînt dependente de temperatură și compoziția gazelor de ardere, determinarea lor comportă, în ceea ce privește stabilirea compoziției gazelor de ardere, două aspecte :

a) Se cunoaște analiza elementară a combustibililor (carbon, sulf, oxigen, azot, hidrogen, cenușă, umiditate), putîndu-se astfel determina compoziția gazelor de ardere (bioxid de carbon, vapori de apă, bioxid de sulf, azot, oxigen); stabilirea în acest caz a căldurii specifice, viscozității dinamice și a conductivității termice nu pune probleme deosebite, literatura tehnică cuprinzînd o multitudine de formule de calcul (de exemplu cele din [1], [3], [5], [6]).

b) Se cunoaște numai analiza tehnică (imediată) a combustibililor (putere calorifică, cenușă și umiditate), neputîndu-se determina astfel compoziția gazelor de ardere. În fapt, acesta reprezintă cazul frecvent întîlnit în practică, la calculele de verificare, caz și pentru care s-a întocmit programul de calcul termic.

Față de această situație s-a procedat la elaborarea unor formule care să țină seama de compoziția gazelor de ardere prin componente care pot fi determinate prin relații statistice (CO_2 și H_2O).

Formulele sînt întocmite folosind date din [2], [4], [7]. Forma lor este polinomială, cu coeficienți variabili în raport cu compoziția gazelor de ardere.

Forma generală a polinoamelor este identică pentru căldura specifică, căldura specifică medie, viscozitatea dinamică și conductivitatea termică :

$$Z = a_0 + a_1\zeta$$

$$\zeta = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5,$$

unde

a_i și b_i sînt coeficienți polinomiali ;
t — temperatura, °C ;
Z — mărimea determinată, în unitățile indicate în tabelul 1.

Coeficienții polinomiali sînt dependenți liniar de participațiile masice ale CO_2 și H_2O în gazele de ardere, x_{CO_2} și x_{H_2O}.

$$a_i = a_{i0} + a_{i1}\, x_{CO_2}$$

$$b_i = b_{i0} + b_{i1}\, x_{H_2O}$$

Valorile coeficienților polinomiali a_{ik} și b_{ik} pentru formulele ICEMENERG sînt prezentate în tabelul 1.

Domeniul de valabilitate al formulelor este : $t \in (0 \div 1\,200°C)$, $x_{CO_2} \in (0 \div 0{,}2)$ și $x_{H_2O} \in (0 \div 0{,}3)$.

În scop ilustrativ, în tabelul 2 sînt date, comparativ față de valorile din tabele [1], [2], valorile calculate ale căldurii specifice medii, viscozității dinamice și conductivității termice pentru aer la diverse temperaturi. Aceeași comparație a fost făcută în tabelul 3 pentru gazele de ardere. Calculele au fost efectuate pentru huilă energetică de Valea Jiului și lignit din Bazinul Oltenia, valoarea coeficientului de exces de aer fiind 1,25. Compoziția gazelor de ardere a fost stabilită pe baza analizei elementare a combustibilului.

Din examinarea celor două tabele se constată o concordanță bună a valorilor căldurii specifice medii și viscozității dinamice. Formulele pentru calculul conductivității termice conduc la rezultate cu precizie mulțumitoare pînă la nivelul temperaturii de 700 — 800°C. Este de menționat că la temperaturi superioare acestora, transmiterea căldurii prin convecție capătă o pondere mai mică față de transmiterea căldurii prin radiație (chiar sub 10%), astfel că la calculul coeficientului global de transmitere a căldurii erorile sînt mult atenuate.

* Autorii lucrează la ICEMENERG : Ion Bolma — cercetător științific, George Chercea — cercetător științific principal, Georgeta Frăsineanu — matematician, Carol Schuman — inginer.

Tabelul 1

Coeficienții polinomiali pentru polinoamele ICEMENERG

	c_p [kJ/kg.K]	c_p^m [kJ/kg.K]	$\eta \cdot 10^6$ [Pa.s]	$\lambda \cdot 10^3$ (kW/m.K)
b_{00}	0,9350	$0,1707.10^2$	$0,5963.10^2$	$0,2359.10^3$
b_{01}	$0,1756.10^4$	$0,1705.10^4$	$-0,3410.10^3$	$-0,5297.10^1$
b_{10}	0,1966	— 0,1361	$0,2340.10^1$	0,8524
b_{11}	0,2517	0,3786	$-0,1899.10^1$	0,7589
b_{20}	$0,2823.10^{-3}$	$0,1326.10^{-2}$	$-0,2765.10^{-2}$	$-0,7813.10^{-3}$
b_{21}	$-0,4105.10^{-3}$	$-0,1164.10^{-2}$	$0,7699.10^{-2}$	$0,5728.10^{-3}$
b_{30}	$0,5940.10^{-6}$	$-0,2412.10^{-5}$	$0,3374.10^{-5}$	$0,1103.10^{-5}$
b_{31}	$0,3519.10^{-5}$	$0,3128.10^{-5}$	$-0,1130.10^{-4}$	$-0,5309.10^{-6}$
b_{40}	$-0,1250.10^{-8}$	$0,1997.10^{-8}$	$-0,2305.10^{-8}$	$-0,8708.10^{-9}$
b_{41}	$-0,3937.10^{-8}$	$-0,2957.10^{-8}$	$0,7917.10^{-8}$	$0,5416.10^{-9}$
b_{50}	$0,5515.10^{-12}$	$-0,6076.10^{-12}$	$0,6282.10^{-12}$	$0,2590.10^{-12}$
b_{51}	$0,1305.10^{-11}$	$0,9547.10^{-12}$	$-0,2175.10^{-11}$	$-0,2175.10^{-12}$
a_{00}	0,1000.10	0,100.10	$0,1500.10^2$	0,0000
a_{01}	$0,3595.10^{-1}$	$0,4210.10^{-1}$	$-0,3330$	0,0000
a_{10}	$0,5000.10^{-3}$	$0,5000.10^{-3}$	$0,2500.10^{-1}$	$0,1000.10^{-3}$
a_{11}	$0,4150.10^{-4}$	$0,1850.10^{-4}$	$-0,4610.10^{-3}$	$-0,1750.10^{-4}$

Tabelul 2

Comparație între valorile căldurii specifice medii, viscozității dinamice și conductivității termice ale aerului calculate cu formulele ICEMENERG și cele din tabele*)

t	c_p^m [kJ/kg·K]			$\eta \cdot 10^6$ [Pa.s]			λ [W/mK]		
°C	formulă	tabel	ε	formulă	tabel	ε	formulă	tabel	ε
100	1,007	1,000	0,70	21,73	21,80	0,32	0,0314	0,0321	2,15
400	1,0333	1,030	0,29	32,91	32,85	0,18	0,0503	0,0521	3,43
700	1,061	1,060	0,09	41,31	41,60	0,70	0,0663	0,0671	1,17
1 000	1,092	1,090	0,18	48,30	49,30	2,03	0,0798	0,0807	1,11

*) Valorile au fost extrase din [1], [2].

Tabelul 3

Comparație între valorile căldurii specifice medii, viscozității dinamice și conductivității termice ale gazelor de ardere calculate cu formulele ICEMENERG (calcul aproximativ) și cu formula amestecului (calcul exact)

	t[°C]	c_p^m [kJ/kg.K]			$\eta \cdot 10^6$[Pa.s]			λ[W/mK]		
		aprox.	exact	ε	aprox.	exact	ε	aprox.	exact	ε
Huilă	100	1,064	1,047	1,62	20,22	19,96	1,30	0,03074	0,03045	0,95
$H_{ui} = 15\,500 \frac{kJ}{kg.K}$	400	1,091	1,088	0,20	31,11	30,73	1,24	0,05048	0,05116	1,32
	700	1,123	1,134	0,97	39,47	38,79	1,70	0,06776	0,07163	5,65
	1 000	1,158	1,174	1,36	46,40	—	—	0,08301	0,08886	6,58
Lignit	100	1,146	1,126	1,78	19,22	19,02	1,05	0,03153	0,03039	3,75
$H_{ui} = 6\,700 \frac{kJ}{kg.K}$	400	1,177	1,170	0,60	30,26	29,89	1,24	0,05401	0,05375	0,48
	700	1,214	1,221	0,57	39,03	38,11	2,41	0,07457	0,07842	4,91
	1 000	1,255	1,267	0,95	46,31	—	—	0,09359	0,10320	9,31

Observație. Calculul valorilor exacte s-a efectuat utilizînd analiza elementară a combustibililor.

Bibliografie

[1] * * * *Teplovoi raşcet kotelnih agregatov. Normativnti metod*-2. izdanie. Energhiia, Moscova, 1973.

[2] Raznjevic, K. *Tables et diagrammes thermodynamiques.* Editions Eyrolles, Paris, 1970.

[3] Brandt, F. *Eine allgemeine Darstellung der Stoffwerte von Rauchgasen für beliebige Brennstoffe.* În: BWK, nr. 2, 1964.

[4] Schumacher, A. și Waldmann, H. *Wärme- und Strömungstechnik im Dampferzeugerbau.* Vulkan Verlag, Essen, 1972.

[5] Reich, W. *Aufbau eines statistischen Dampferzeuger Modells und sein Einsatz für rationelle Konstruktions Betriebsuntersuchungen.* În: Energietechnik, nr. 19, 1968.

[6] Schack, A. *Der industrielle Wärmeübertragung* — 7. Auflage. Verlag Stahleissen, Düsseldorf, 1969.

[7] * * * VDI — *Wärmeatlas* — 2. Auflage. VDI Verlag, Düsseldorf, 1974.

(Articol intrat în redacție la 17 decembrie 1977)

Evaluarea probabilistică a efectului pulsațiilor de temperatură cu amplitudini mici și frecvență mare asupra duratei de viață a colectoarelor cazanelor de abur

Dr. ing. **M.G.M. Pop**,
ing. **Ecaterina Ursu**
și ing. **D. Manea***)

Studiind posibilitatea înlocuirii suflării în soluție clasică cu suflarea continuă la cazanele P-55 din CTE Mintia, a fost necesară stabilirea gradului de uzură (proporției consumate din durata de viață) a colectoarelor zonei de medie radiație (ZMR) 1 și 2, aflate pe drumul 1 al gazelor de ardere. Spre deosebire de suflarea continuă, suflarea în soluție clasică se efectuează timp de 10 minute la interval de cîte 2 ore.

Metodele sintetice utilizate atît pentru studierea stării de eforturi în părțile metalice sub presiune ale colectoarelor ZMR 1 și 2 la regimurile tranzitorii de suflare în soluție clasică, precum și în alte regimuri tranzitorii de bază suportate de instalația în discuție [1], nu pot fi aplicate în cazul regimului tranzitoriu de suflare continuă. Aceasta se datorește caracterului specific al acestui regim tranzitoriu, caracterizat prin variații de efort sinusoidale cu amplitudini și perioade mici. Oscilațiile efortului unitar în peretele colectorului se datoresc variațiilor de temperatură produse în cursul acestui regim tranzitoriu (fig. 1*a* și 1 *b*).

Singura tratare posibilă este cea care utilizează metoda probabilistică Palmgren-Miner, aplicată unor evenimente într-o distribuție Rayleigh [2], [3].

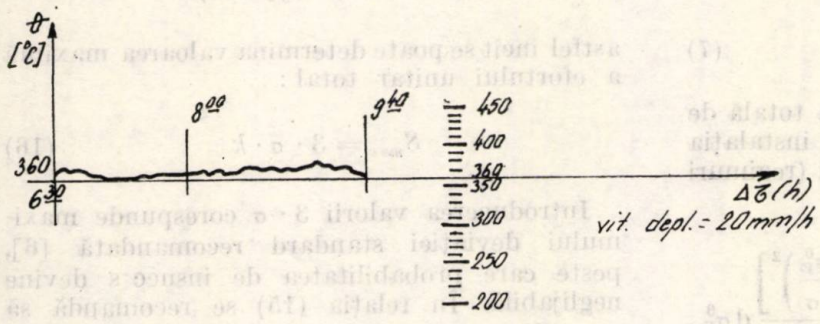
Modelul de calcul probabilistic

Distribuția Rayleigh este caracterizată prin densitatea de probabilitate [2]:

$$\lambda_{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_V^\theta}{\sigma^2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_V^\theta}{\sigma}\right)^2\right] \qquad (1)$$

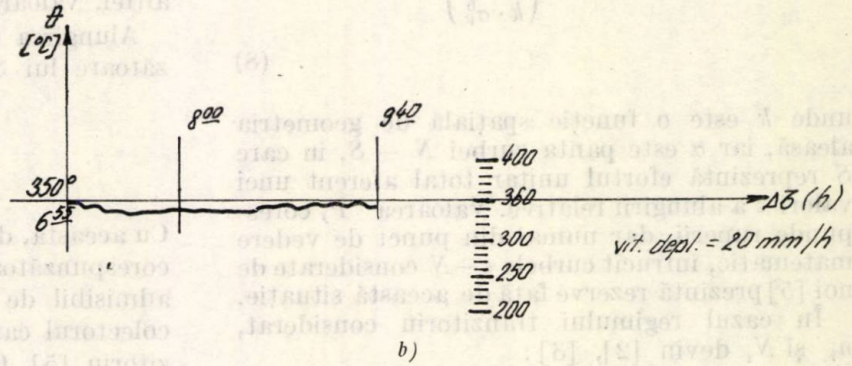
Relația descrie comportarea din punct de vedere probabilistic a colectorului cazanului sub acțiunea variațiilor de temperatură provocate de regimul tranzitoriu de suflare continuă. În relația (1), σ_V^θ reprezintă efortul unitar redus datorat vitezei de variație a temperaturii, conform relației [1], [4]:

$$\sigma_V^\theta = \sigma_c \cdot e^{\left[\left|\frac{\sqrt{3}}{2\cdot\sigma_c}\cdot\xi\cdot\frac{C_{geom}}{C_M}V_\theta\right|-1\right]}, \qquad (2)$$



a)

Fig. 1. *a*. Regimul tranzitoriu de suflare continuă la cazanul P-55. Variația temperaturii în timp la ieșirea din ZMR-1(dreapta.)



b)

Fig. 1 *b*. Regimul tranzitoriu de suflare continuă la cazanul P-55. Variația temperaturii în timp la ieșirea din ZMR-1 (stînga).

iar σ este deviația standard a efortului unitar, corespunzătoare distribuției Rayleigh:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2}\cdot R_0 \cdot f_n \cdot Q + \frac{1}{Q}} \qquad (3)$$

* Dr. ing. Mihai G. M. Pop este cercetător științific principal, Ecaterina Ursu cercetător științific și Dumitru Manea inginer în cadrul Laboratorului de energetică generală, industrială și surse noi de energie din ICEMENERG.

În relaţia (3), R_0 este dat de produsul dintre valoarea funcţiei (efortul unitar) într-un punct dat şi creşterea funcţiei pe intervalul de calcul, între un punct de referinţă (de obicei originea sau punctul corespunzător unei valori reprezentative a funcţiei) şi punctul considerat. R_0 devine în acest caz :

$$R_0 = \sigma_V^\theta \cdot \mathrm{tg}\beta, \tag{4}$$

unde tgβ este tangenta la curba care descrie funcţia, considerată ca variaţia funcţiei pe domeniul de calcul (între punctul de referinţă şi punctul curent) :

$$\mathrm{tg}\,\beta = \frac{\Delta\sigma_V^\theta}{\Delta f} = (\sigma_V^{\theta min} - \sigma_V^\theta)\cdot\Delta\tau, \tag{5}$$

f (sau inversa acesteia, τ) fiind argumentul funcţiei.

Q este transmisibilitatea, definită de raportul dintre efortul unitar redus datorat temperaturii în punctul considerat şi valoarea acestuia corespunzătoare temperaturii maxime :

$$Q = \frac{\sigma_V^\theta}{\sigma_V^{\theta max}} \tag{6}$$

Revenind la relaţia (1), rezultă că probabilitatea de apariţie a unei anumite valori a efortului unitar redus, $\sigma_{V,i}^\theta$, este :

$$P_i(\sigma_{V,i}^\theta) = \lambda_{i,\Delta\varepsilon}\cdot \mathrm{d}\,\sigma_{V,i}^\theta \tag{7}$$

Dacă se notează cu P_I probabilitatea totală de insucces, adică probabilitatea ca instalaţia să nu reziste la numărul n de cicluri (regimuri tranzitorii), atunci :

$$P_I = \sum_{i=1}^{m}\frac{n_i}{N_i} = \int_0^\infty \frac{\frac{f_n\cdot\tau}{\sigma}\cdot\frac{\sigma_V^\theta}{\sigma}\cdot\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_V^\theta}{\sigma}\right)^2\right]}{\left(\frac{\sigma_V^{\theta min}}{k\cdot\sigma_V^\theta}\right)^\alpha}\mathrm{d}\,\sigma_V^\theta, \tag{8}$$

unde k este o funcţie spaţială de geometria aleasă, iar α este panta curbei $N - S$, în care S reprezintă efortul unitar total aferent unei valori ε a alungirii relative. Valoarea P_I corespunde ruperii, dar numai din punct de vedere matematic, întrucît curbele $\varepsilon - N$ considerate de noi [5] prezintă rezerve faţă de această situaţie.

În cazul regimului tranzitoriu considerat, n_i şi N_i devin [2], [3] :

$$n_i = f_n\cdot\tau\cdot\lambda_{\Delta\varepsilon}\cdot\mathrm{d}\,\sigma_V^\theta \tag{9}$$

$$N_i = \left(\frac{\sigma_V^{\theta min}}{S_i}\right)^\alpha, \tag{10}$$

de unde

$$\alpha = \frac{\lg\Delta N}{\lg\Delta S} = \frac{\lg\Delta N}{\lg\frac{E\cdot\Delta\varepsilon}{100}} \tag{11}$$

Dacă în relaţia (8) se face schimbarea de variabilă :

$$X = \frac{\sigma_V^\theta}{\sigma}; \quad \mathrm{d}X = \frac{\mathrm{d}\,\sigma_V^\theta}{\sigma}, \tag{12}$$

rezultă :

$$P_I = \sum_{i=1}^{m}\frac{n_i}{N_i} = f_n\cdot\tau\left(\frac{k\cdot\sigma}{\sigma_V^{\theta min}}\right)^\alpha\cdot\int_0^\infty X^{1+\alpha}\cdot\exp\left(-\frac{X^2}{2}\right)\mathrm{d}X \tag{13}$$

Notînd termenul integral cu I_r, (13) devine :

$$P_I = \sum_{i=1}^{m}\frac{n_i}{N_i} = f_n\cdot\tau\left(\frac{k\cdot\sigma}{\sigma_V^{\theta min}}\right)^\alpha\cdot I_r. \tag{14}$$

Integrala de probabilitate I_r, ca funcţie de α, a fost evaluată pe calculator [5].

Din (14) se obţine valoarea lui k :

$$k = \left(\frac{\sigma_V^{\theta min}}{\sigma}\right)\left(\frac{P_I}{f_n\cdot\tau\cdot I_r}\right)^{1/\alpha}, \tag{15}$$

astfel încît se poate determina valoarea maximă a efortului unitar total :

$$S_{max} = 3\cdot\sigma\cdot k \tag{16}$$

Introducerea valorii $3\cdot\sigma$ corespunde maximului deviaţiei standard recomandată [6], peste care probabilitatea de insucces devine neglijabilă. În relaţia (15) se recomandă să se utilizeze, în mod cu totul conservativ de altfel, valoarea de calcul $P_I = 1$.

Alungirea relativă maximă totală, corespunzătoare lui S_{max}, devine :

$$\varepsilon_{max} = 100\cdot\frac{S_{max}}{E} \tag{17}$$

Cu aceasta, din curba $\varepsilon - N$ se obţine valoarea corespunzătoare, N_{max}, a numărului maxim admisibil de cicluri pe care le poate suporta colectorul cazanului supus acestui regim tranzitoriu [5]. Cunoscînd numărul real de cicluri n, se poate afla proporţia consumată, în materialul colectorului ZMR, din durata de viaţă aferentă regimului tranzitoriu de suflare continuă.

Exemplu de calcul

Utilizînd metodologia prezentată, pe baza datelor constructive corespunzătoare geometriei studiate (colectorul de ieşire al ZMR-1, de la cazanul P-55 nr. 3, ramura 3A de la CTE Mintia [1]) s-a putut determina efectul pe care l-ar avea utilizarea suflării continue într-un interval de timp de 13 ani. (Instalaţia a intrat în funcţiune la 21 decembrie 1970 şi se consideră o durată de viaţă a acesteia de 20 ani, dintre care în primii 7 ani s-a utilizat suflarea soluţie clasică). Se menţionează că materialul din care este construit colectorul este oţelul sovietic 12 H1MF, considerat echivalent cu oţelul german 13CrMo44.

În tabelul 1 se prezintă rezultatele acestui calcul.

Tabelul 1

Determinarea proporţiei consumate din durata de viaţă a colectorului ZMR-1 aferentă regimului tranzitoriu de suflare continuă

Nr. crt.	Mărimea	Unitatea de măsură	Mod de determinare	Valoarea
1	σ_c	kgf/mm²	Din [7]	21,2
2	C_{geom}	mm²	Relaţia (12) din [8]	−191,10354
3	ξ	—	Din [4]	2,31
4	C_M	mm⁴.°C/kgf	Fig. 1 din [8]	$10{,}56.10^4$
5	V_θ	°C/min	Fig. 1*a* şi 1*b*	2
6	σ_V^θ	kgf/mm²	Relaţia (2)	7,9712
7	$\Delta\tau$	min	Fig. 1	10
8	θ^{min}	°C	Din experimentări	335
9	$\sigma_V^{\theta^{min}}$	kgf/mm²	Relaţia (2)	8,588
10	tgβ	kgf.s/mm²	Relaţia (5)	370,08
11	R_0	kgf².s/mm²	Relaţia (4)	2949,9816
12	f_n	s^{-1}	Din experimentări	0,00166666
13	$\sigma_V^{\theta^{max}}$	kgf/mm²	Relaţia (2)	7,0876
14	Q	—	Relaţia (6)	1,1246684
15	σ	kgf/mm²	Relaţia (3)	3,0903163
16	P_I	—	Valoare de calcul	1
17	E	kgf/mm²	din [7]	$1{,}67.10^4$
18	τ	s	Din experimentări	336960000
19	ΔN	—	Din experimentări	$4{,}384.10^5$
20	$\Delta\varepsilon$	%	Fig. 3 din [5]	$0{,}21.10^{-1}$
21	α	rad	Relaţia (11)	10,35
22	I_r	—	Fig. 5 din [5]	$1{,}1.10^3$
23	k	—	Relaţia (15)	0,3918395
24	S_{max}	kgf/mm²	Relaţia (16)	0,363723
25	ε_{max}	%	Relaţia (17)	0,0021779874
26	n	—	Din experimentări	$5{,}616.10^5$
27	N_{max}	—	Fig. 3 din [5]	1.10^9
28	n/N_{max}	—	—	0,0005616

Concluzii

Lucrarea prezintă o metodă originală de determinare a efectului eforturilor de temperatură de amplitudine mică şi frecvenţă mare, la părţi sub presiune ale instalaţiilor de cazan, prin adaptarea metodei Palmgren-Miner.

Aplicînd această metodă de studiu, se constată că influenţa regimului de suflare continuă asupra gradului de uzură al instalaţiei este neglijabil de mică, chiar pe o perioadă de 13 ani. Aceasta înseamnă că viaţa instalaţiei poate fi mult prelungită, înlocuind suflarea soluţie clasică, care absoarbe în aceeaşi perioadă 39% din durata de viaţă [1], cu suflarea continuă, care conduce la un consum de numai 0,05616% din aceasta.

Ţinînd seama că efectul regimurilor tranzitorii de bază care afectează instalaţia determină pe o perioadă de funcţionare, considerată de 20 ani, un consum total de 57,87132511% din durata de viaţă a acesteia, rezultă că menţinerea soluţiei suflare clasică poate absorbi aproape întreaga rezervă disponibilă (pînă la 100%).

Rezerva din durata de viaţă permisă prin utilizarea în continuare a suflării în soluţie clasică (3,1286749% conform [1]) corespunde unui interval de timp de 7,5 luni. Dacă după cei 7 ani de funcţionare utilizînd suflarea clasică se trece la utilizarea suflării continue, după încă 13 ani de funcţionare ar rămîne disponibilă o proporţie de 42,07251489% din durata de viaţă, adică 8,4 ani. Rezultă că economia de disponibilitate raportată la durata de viaţă a centralei de 20 ani (pentru o durată de viaţă normată de 15 ani [9] a părţilor metalice supuse analizei prezentei lucrări) este de 5,841 ani, adică 38,94 %. Cunoscînd că preţul unui colector este de 28 880 lei şi că la CTE Mintia fiecare din cele 4 grupuri de 200 MW este echipat cu cîte 8 colectoare, rezultă o economie totală de :

$$0{,}3894 \cdot 28\,880 \times 4 \times 8 = 359.868 \text{ lei}$$

Pe de altă parte, indisponibilitatea pe grup la înlocuirea colectoarelor fiind de 1/8 luni, se obţine pe întreaga centrală o economie de 0,555 MW în cei 15 ani de exploatare. Investiţia necesară instalării unui MW fiind de circa 5 milioane lei, rezultă o economie de circa 2,777 milioane lei.

Efectul combinat al investiţiilor în echipamente şi al indisponibilităţii la înlocuirea acestora conduce la un total de circa 3,138 milioane lei.

Ciclul de suflare în cazul soluţiei propuse va fi tot de două ore (intervalul dintre două intrări succesive ale aceluiaşi suflător), iar intervalul între intrările în funcţiune a două suflătoare succesive va fi de 10 minute. Durata activă de suflare corespunzătoare fiecărui suflător va fi de 40 s [9].

La soluţia propusă se menţine consumul de abur pentru suflarea propriu-zisă corespunzător procedeului folosit în prezent. Trecerea la suflarea continuă nu comportă modificări esenţiale în ceea ce priveşte instalaţia propriu-zisă. Deoarece sistemul de conducte al instalaţiei este în permanenţă sub presiune în timpul funcţionării, trebuie creată posibilitatea intervenirii pentru separarea suflătoarelor care se defectează. În acest scop este necesară instalarea cîte unui ventil de închidere cu acţionare manuală pe conductele de admisie a aburului în fiecare suflător.

Efectuarea suflării continue nu implică sporirea personalului de exploatare față de cel aferent suflării obișnuite.

Efectele prezentate se datorează faptului că suflarea continuă determină solicitarea mai uniformă și de amplitudine mai redusă, comparativ cu suflarea soluție clasică, reducînd eforturile unitare care afectează materialul structurii considerate.

Simboluri

C_{geom} — coeficient geometric, mm²;
C_M — constantă de material, mm².°C/h.kgf;
E — modulul de elasticitate (modulul lui Young), kgf/mm²;
f — frecvența de variație a unei mărimi, s^{-1};
I_r — integrala de probabilitate;
k — funcție spațială de geometria aleasă;
N — numărul maxim admisibil de cicluri;
n — numărul de cicluri aplicate la un regim tranzitoriu;
P_I — probabilitatea de apariție a unui fenomen;
Q — transmisibilitatea;
R — produsul dintre valoarea efortului unitar în punctul considerat și creșterea funcției pe intervalul de calcul, kgf².s/mm²;
S — efortul unitar total, kgf/mm²;
V — viteza de variație a temperaturii, °C/min;
X — variabilă curentă;
α — panta curbei $N-S$, rad;
tgβ — tangenta la curba care descrie o funcție dată, considerată ca variația funcției pe domeniul de calcul, kgf.s/mm²;
Δ — variația unei mărimi. I se atribuie unitățile de măsură ale mărimii respective;
ε — alungirea relativă, %;
ξ — coeficient cumulat de amplificare a vitezei de variație a temperaturii datorită curburii recipientului, existenței găurilor și dimensiunilor finite ale geometriei studiate;
θ — temperatura °C;
λ — densitatea de probabilitate a unei distribuții $(kgf/mm^2)^{-1}$;
σ — efortul unitar sau deviația-standard a efortului unitar, kgf/mm²;
τ — timpul, s.

Indici

c — la curgere;
$geom$ — referitor la geometria studiată;
I — aferent ruperii (sau fisurării);
$i=1, \ldots, m$ — numărul curent pentru regimurile tranzitorii;
M — aferent constantei de material a structurii;
n — valoare naturală, a fenomenului real;
0 — valoare de calcul;
r — aferent integralei de probabilitate;
V — valoare redusă utilizînd ipoteza energetică;
$\Delta\varepsilon$ — aferent unei variații $\Delta\varepsilon$ a alungirii relative;
θ — datorită temperaturii;
$\tau=7$; 13; 20 ani — aferent unui interval de timp de 7, 13 și respectiv 20 ani.

Bibliografia

[1] Pop, M. G. M., Ursu, E. și Manea, D. *Efectul regimurilor de suflare asupra duratei de viață a colectoarelor zonei de medie radiație de la cazanele P-55.* (În curs de apariție, rev. Energetica).

[2] Osgood, C. C. Fatigue Design. John Wiley & Sons Inc., New York, 1970.

[3] Pop, M.G. M., Ursu, E. și Manea, D. *Probabilistic approach to steam generators design life for some transients.* Transactions ANS, Washington D.C., nov. 1976.

[4] Pop, M. G. M. *Contribuții la studiul influenței pornirilor asupra duratei de viață a generatoarelor de abur.* Teză de doctorat, IPB, Fac. de Mecanică, 1976.

[5] Pop, M. G. M., Ursu, E. și Manea, D. *Evaluarea probabilistică a duratei de viață de proiect la generatoarele de abur din CNE în cazul anumitor regimuri tranzitorii.* În: Energetica, 24, nr. 7, 1976.

[6] Ermakov, S. M. *Metoda Monte Carlo și probleme înrudite.* Editura tehnică, București, 1976.

[7] *** *Norme DIN, 17175.*

[8] Gheorghiu, St., Pop, M. G. M. și Tardos, G. *Viteze admisibile de încălzire la cazanele cu circulație naturală.* În: Energetica, 19, nr. 12, 1971.

[9] Pillat, D. V., Pop, M. G. M., Ursu, E. și Manea, D. *Studiul posibilității efectuării unei suflări continue a suprafețelor de schimb de căldură ale cazanelor grupurilor de 200 MW de la CTE Mintia.* Studiu ICEMENERG, București, sept. 1977.

(Articol intrat în redacție la 6 octombrie 1977

Arzătoare turbionare de praf de cărbune; influența parametrilor constructivi și funcționali asupra posibilităților de echipare a focarelor de dimensiuni reduse

Ing. **L. Mihăescu***)

1. Considerații asupra alegerii tipului de arzător la un focar pentru cărbune pulverizat

Mărimea focarului unui cazan ce funcționează cu cărbune sub formă de praf este condiționată, în ultimă instanță, pentru unitățile mici, nu de schimbul de căldură către fluidul de lucru, ci de mărimea, construcția și amplasarea arzătoarelor. Astfel, pentru reducerea pierderilor prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic și chimic, timpul de staționare a particulelor de cărbune în focar trebuie să fie superior timpului de ardere ($\tau_s \geqslant \tau_a$).

Un timp de staționare a particulelor de cărbune în focar corespunzător unei arderi totale, în cazul în care se utilizează jeturi clasice (jeturi date de arzătoarele de tip fantă), cere dimensiuni destul de mari pentru focar. Mărimea focarului va trebui să permită și amplasarea morilor în jurul său, precum și a conductelor de transport al prafului de cărbune.

Folosirea, din motive de economisire a combustibililor superiori, a cărbunelui pulverizat și în cazul cazanelor de termoficare și de debit redus impune ca soluție folosirea arzătoarelor de tip turbionar, pentru o serie de avantaje, prezentate în continuare.

2. Amplasarea arzătoarelor de tip fantă în scopul scurtării lungimii flăcării din focar

La amplasarea unui arzător de tip fantă, trebuie să se țină seamă de adîncimea de penetrație h a jetului în volumul focarului [1], [2]:

$$h = KFw^2 \text{ [m]}, \qquad (1)$$

unde

F este secțiunea de ieșire a jetului, în m^2;
w — viteza de ieșire, în m/s;
K — o constantă ce depinde de raportul aer primar — aer secundar, de excesul de aer, precum și de cîmpul de temperaturi. În lucrarea [1], este dată exprimarea analitică a coeficientului K.

*) Ing. Lucian Mihăescu este cadru didactic la catedra de cazane și turbine din Institutul politehnic București.

Astfel, apare o limitare inferioară a dimensiunilor orizontale ale focarului în funcție de puterea de penetrație a jeturilor. Din această cauză s-a părăsit soluția amplasării frontale (fig. 1 *a*) sau laterale (fig. 1 *b*) a arzătoarelor.

Amplasarea arzătoarelor de tip fantă astfel ca ele să bată tangențial unui cerc de rază *a* permite mărirea lungimii de desfășurare a jetului, concomitent cu o amestecare mai bună și cu o aprindere mai ușoară datorită curentului depresionar central (fig. 1 *c*).

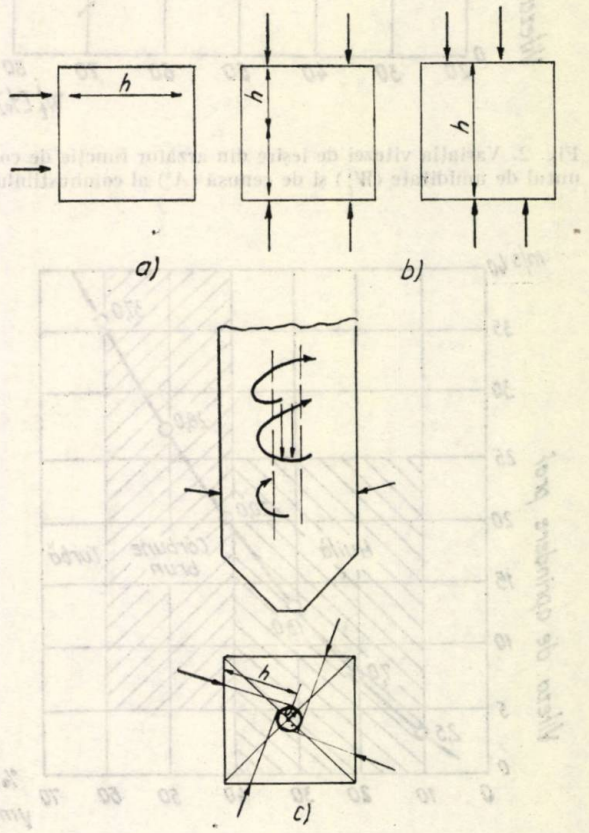


Fig. 1. Influența poziției arzătorului asupra lungimii h de penetrație a jeturilor.

Lungimea de desfășurare a unui jet trebuie corelată și cu calitatea cărbunelui utilizat. Astfel, diagrama din figura 2 arată influența balastului dintr-un combustibil solid (umiditate și materii minerale necombustibile) asupra vitezei de ardere și deci, în ultimă instanță, asupra vitezei de ieșire din arzător. Scăderea vitezei de ieșire din arzător are implicații asupra dimensiunilor arzătoarelor, astfel că la focare de dimensiuni mici, acestea vor ocupa o mare parte din suprafața de schimb de căldură. Cărbunii cu un conținut mare de materii volatile au o viteză mare de aprindere (fig. 3), astfel că pot fi folosite scheme de amplasare a arzătoarelor care duc la lungimi de penetrație minime. Dimpotrivă, cărbunii cu un conținut mic de materii volatile au nevoie de lungimi mari de acroșare a flăcării [2], [3].

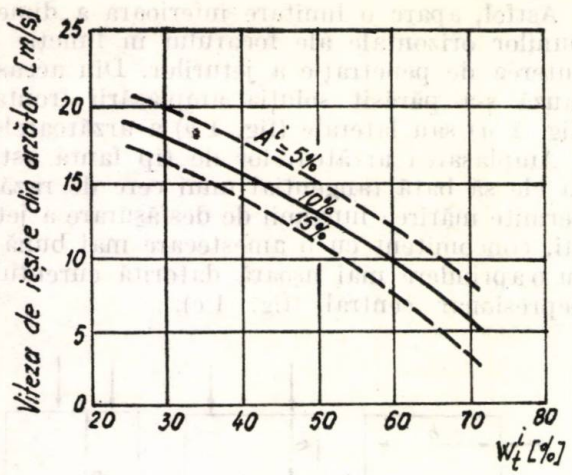


Fig. 2. Variația vitezei de ieșire din arzător funcție de conținutul de umiditate (W_t^i) și de cenușă (A^i) al combustibilului.

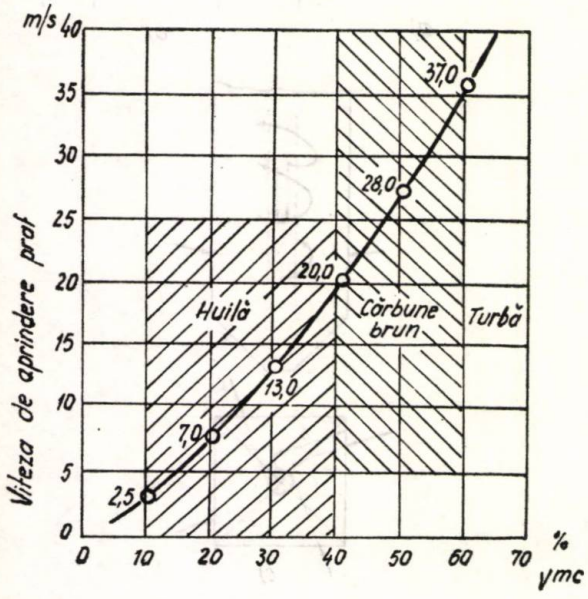


Fig. 3. Variația vitezei de aprindere a amestecului aer-combustibil funcție de calitatea combustibilului.

La noi în țară s-a adoptat, în proiectarea cazanelor de debite mici și mijlocii, varianta echipării cu arzătoare fantă, de tipul celui prezentat în figura 4.

Cele mai mici focare pentru CAF și cazane cu un debit de pînă la 50 t/h au fost proiectate cu două arzătoare, și fără moară de rezervă. O altă variantă de focar de dimensiuni reduse este cea cu arzătoarele amplasate ca în figura 5. Una dintre cele trei mori este în rezervă. Funcționarea cu numai două mori implică însă o dezvoltare neuniformă a flăcării în focar și deci o înrăutățire a arderii și schimbului de căldură. Experiența mondială a arătat că de regulă sînt necesare minimum patru mori pentru o funcționare bună în cazul amplasării tangențiale a arzătoarelor.

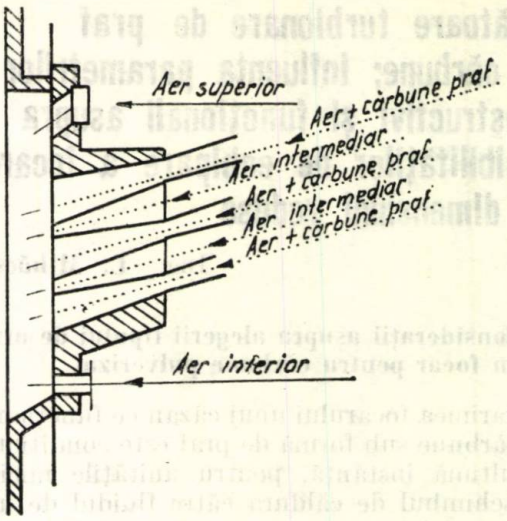


Fig. 4. Arzătorul cu fante de tip Babcock pentru arderea cărbunilor bruni.

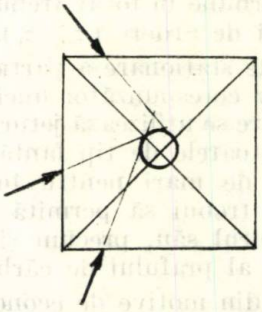


Fig. 5. Amplasarea arzătoarelor de tip fantă la focarele cu dimensiuni reduse.

O serie de experiențe efectuate de autor la CTE Doicești pe un cazan de 100 t/h funcționînd pe lignit, cu un focar cu arzătoarele amplasate ca în figura 1 *c* au arătat o asimetrie mare a flăcării la oprirea unei mori (fig. 6 *a*). Pentru simetrie, focarul cazanului de 1035 t/h este echipat cu 6 mori, dintre care una în rezervă (fig. 6 *b*) [3].

La cazane cu debite mari, soluția cehoslovacă prevede forme poligonale pentru focar, fiecare latură avînd un arzător, în vederea apropierii de forma ideală de cerc, formă ce asigură o încărcare uniformă, dar cu dezavantajul complicării sistemului de preparare a prafului de cărbune.

Un focar al unui cazan de debit mic nu poate fi însă echipat cu un număr sporit de mori, din motive de amplasare a acestora.

Arderea cărbunilor umezi a impus în ultimul timp și utilizarea unor separatoare inerțiale de vapori de apă și de particule fine (fig. 7). Astfel de arzătoare au însă dimensiuni foarte mari pe verticală, neputînd fi amplasate la focare mici.

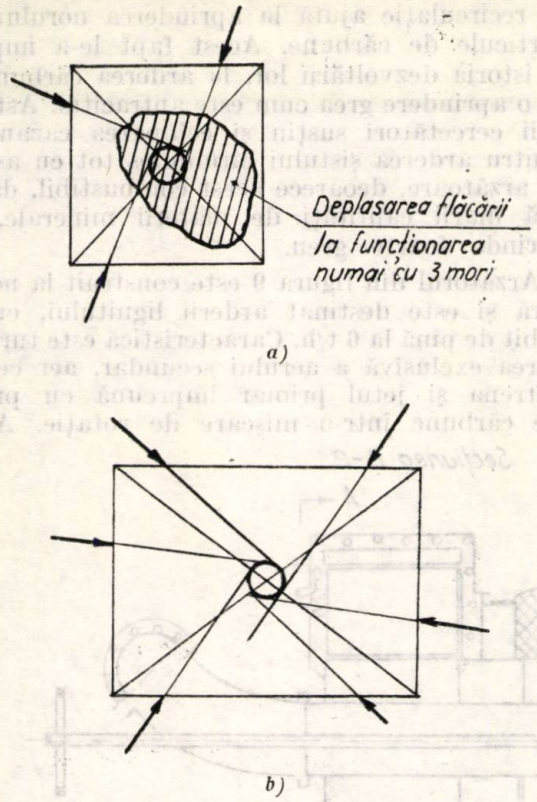


Fig. 6. Corelația între numărul de mori în funcțiune și simetria flăcării.

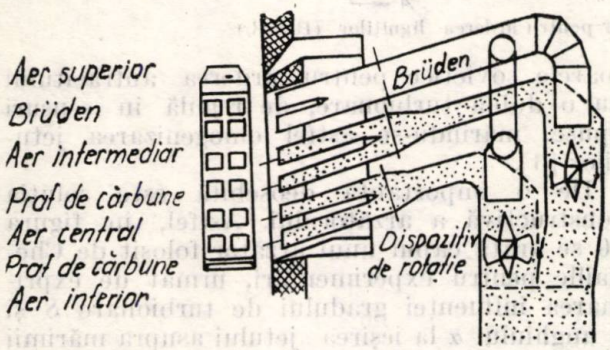


Fig. 7. Arzător cu fante cu dispozitive centrifugale de separare a vaporilor de apă.

3. Caracteristicile arzătoarelor turbionare de praf de cărbune

La acest tip de arzătoare se impune jetului de agent primar și praf de cărbune o mișcare de rotație. Jetul va avea astfel proprietățile unui turbion singular, proprietăți ce arată o distribuție potențială a vitezei în porțiunea sa periferică $\left(w = \frac{\Gamma}{2\pi r} \right)$, o distribuție cvasisolidă în zona centrală ($w = r\omega$), precum și un curent central invers de rază r_e, datorită cîmpului depresionar ce există într-un turbion. În figura 8 se prezintă modelul fizico-matematic adoptat [3], [4].

Conform celor arătate anterior, s-a coniderat că de o importanță deosebită este mărimea vitezei axiale a jetului turbionat. Existența

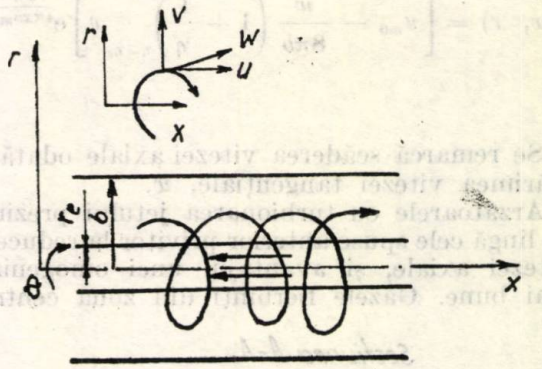


Fig. 8. Modelul matematic pentru studiul jeturilor turbionate.

unui impuls axial mult mai mic la aceste jeturi duce la scăderea vitezei axiale, obținîndu-se în final flăcări mult mai scurte. În lucrările [3], [4] se prezintă o metodă de calcul analitic al vitezei axiale $u(x, r)$, pornindu-se de la sistemul de ecuații (2) și (3) — pentru ușurința calculelor s-a ales sistemul de coordonate cilindrice (x, r, θ) (fig. 8).

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \rho_{am}}{\partial \tau} + \dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{\partial v}{\partial r} + \dfrac{\partial w}{\partial \theta} + \dfrac{v}{r} = 0 & (2) \\ \dfrac{\partial}{\partial \tau}(\rho_{am} \overline{U}) = \dfrac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial (r \tau_{xr})}{\partial_r} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial \tau x\theta}{\partial \theta} & (3) \end{cases}$$

unde $\overline{U}$ este vectorul vitezei.

Folosindu-se ipotezele: $\rho_{am} = \text{ct}$; $\dfrac{\partial p_{xx}}{\partial x} = 0$;

Pentru regim stabilizat $\dfrac{\partial}{\partial \tau} = 0$, și $\tau_{xr} = \mu_t \left(\dfrac{\partial v}{\partial x} + \dfrac{\partial u}{\partial r} \right)$, $\tau_{x\theta} = \mu_t \left(\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial u}{\partial \theta} + \dfrac{\partial w}{\partial x} \right)$, unde coeficientul de viscozitate dinamică va avea forma:

$$\mu_t = \varkappa \rho_{am} bu \qquad \eta = \frac{r}{b}; \quad 0 < \eta < 1.$$

Sistemul va duce la ecuația:

$$\frac{\partial}{\partial x}(u^2) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[\varkappa_m \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{2\pi}\frac{\partial}{\partial \theta}(\Gamma\, dr) \right], \tag{4}$$

ecuație ce a fost integrată căutîndu-se soluții sub forma:

$$u = u(x, r) = u_m(x) f(\eta), \tag{5}$$

obținîndu-se în final următoarea expresie a vitezei axiale $u(x, r)$ în funcție de viteza inițială u_{m0} :

$$u(x, r) = \left[u_{m0} - \frac{w}{8\pi b} \left(1 + \frac{1}{\eta} \right)_{\eta=\eta_e} \cdot x \right] e^{\frac{w\eta^2}{4\pi x u_{m0}}} \tag{6}$$

Se remarcă scăderea vitezei axiale odată cu mărimea vitezei tangențiale, w.

Arzătoarele cu turbionarea jetului prezintă, pe lîngă cele spuse anterior privitor la reducerea vitezei axiale, și avantajul unei omogenizări mai bune. Gazele fierbinți din zona centrală de recirculație ajută la aprinderea norului de particule de cărbune. Acest fapt le-a impus, în istoria dezvoltării lor, la arderea cărbunilor cu o aprindere grea cum este antracitul. Astăzi, unii cercetători susțin și echiparea cazanelor pentru arderea șistului bituminos tot cu astfel de arzătoare, deoarece acest combustibil, datorită marii cantități de materii minerale, se aprinde foarte greu.

Arzătorul din figura 9 este construit la noi în țară și este destinat arderii lignitului, cu un debit de pînă la 6 t/h. Caracteristică este turbionarea exclusivă a aerului secundar, aer ce va antrena și jetul primar împreună cu prafu de cărbune într-o mișcare de rotație. Arză

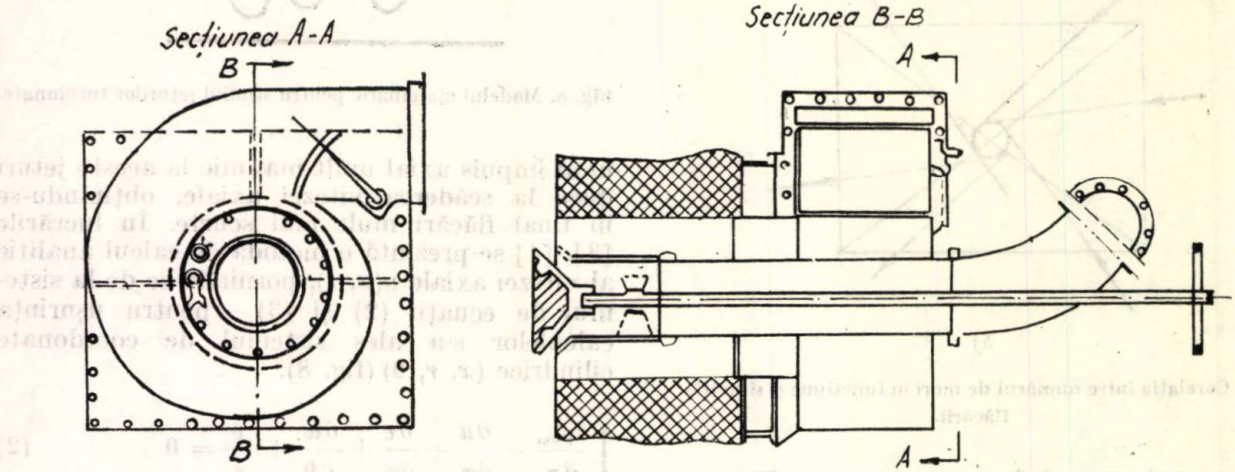


Fig. 9. Arzător cu turbionarea aerului secundar pentru arderea ligniților (R.S.R.).

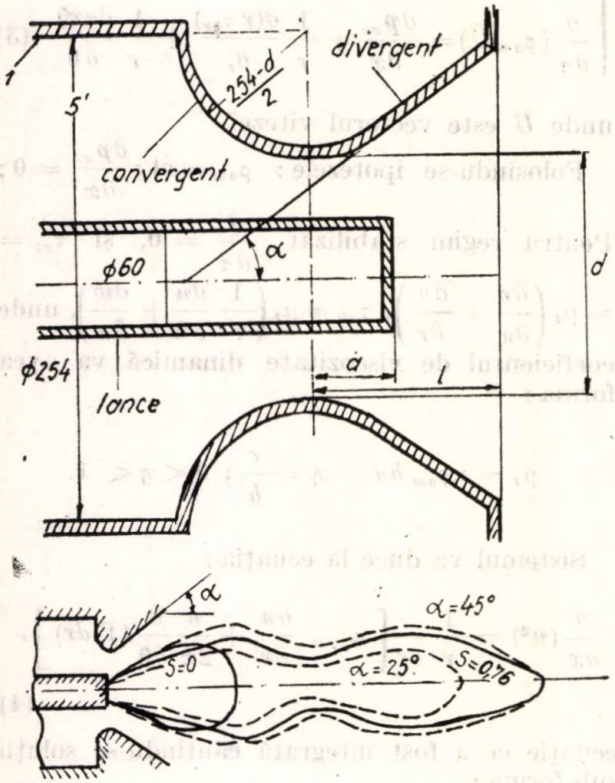


Fig. 10. Influența construcției capului arzătorului asupra arderii.

toarele sovietice pentru arderea antracitului au o dublă turbionare, de regulă în sensuri opuse, mărindu-se astfel omogenizarea jeturilor [3].

De o importanță deosebită este soluția constructivă a arzătorului. Astfel, în figura 10 se arată capul unui arzător folosit de Chedaille pentru experimentări, urmat de exprimarea influenței gradului de turbionare S și a unghiului α la ieșirea jetului asupra mărimii zonei de recirculare [3], [5].

Variabilele construcției arzătorului turbionar sînt diametrul d, lungimile a și l, precum și semiunghiul divergenței ajutajului de ieșire α. Dacă arzătorul are un cap deflector, ca cel din figura 9, poziția acestuia, caracterizată prin mărimea a, precum și soluția sa constructivă vor avea o mare influență asupra recirculării interne.

Se definește drept grad de turbionare S, raportul :

$$S = \frac{\text{fluxul cantității de mișcare turbionată}}{\text{diametrul exterior al arzătorului} \times \text{flux. cant. de mișcare}} \tag{7}$$

Arzătoarele turbionare nu vor avea avantaje decît dacă pot fi introduse în schema de măci-

nare a combustibililor solizi cu insuflare directă, cu mori de tip ventilator (integrarea lor în schemele cu buncăr intermediar complică instalația de măcinare și transport chiar și pentru unitățile de cazane mari). Acest lucru nu este însă posibil decît dacă se vor reduce la maximum pierderile interne de presiune.

În acest scop, Chedaille introduce un parametru ce caracterizează eficiența generării de mișcare turbionară.

$$\varepsilon = \frac{\text{fluxul de energie cinetică la ieșirea din ajutaj}}{\text{fluxul de energie cinetică la ieșirea din ajutaj} + \text{pierderile de flux cinetic datorită căderii de presiune}} \qquad (8)$$

Experiențele efectuate, în funcție de poziția conului deflector și de unghiul evazării sale (α_c), prezintă variația presiunii minime de alimentare a arzătorului, ca în figura 11. La aceste pierderi de presiune vor mai trebui adunate cele ce apar datorită aparatului director cu

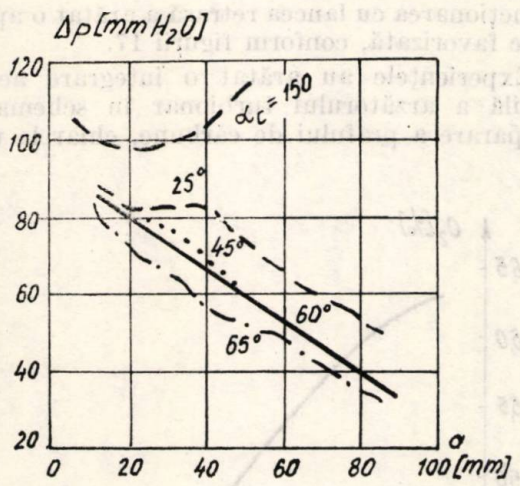


Fig. 11. Influența construcției capului arzătorului asupra pierderilor de presiune.

palete sau cu melc, pentru generarea mișcării de turbionare. Pierderile în aparatul director au fost analizate pe larg în lucrarea [6].

În figura 12 se prezintă distribuția axială a temperaturii în funcție de granulația cărbunelui, conform unor experimentări efectuate de I. Béer la Ijmuiden, pe un arzător ca cel din figura 10, cu un grad de turbionare foarte redus. Experiențele au arătat că, indiferent de cîmpul de viteze utilizat, creșterea finеții de măcinare duce la un vîrf mai pronunțat al temperaturii la o poziție mai apropiată de gura arzătorului.

Dacă se definește gradul de oxidare ca raport dintre oxigenul intrat în reacție față de cel stoechiometric, diagrama din figura 13 pune în evidență influența finеței de măcinare asupra arderii prafului de cărbune.

Figura 14 arată influența curbei granulometrice asupra coeficientului de emisie a flăcării,

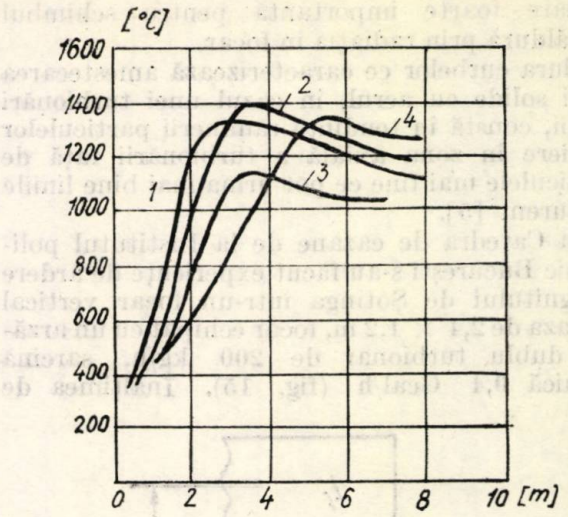


Fig. 12. Distribuția temperaturii axiale funcție de finețea de măcinare:
1 – R_{76} = 0%; 2 – R_{76} = 20%; 3 – R_{76} = 40%; 4 – R_{76} = 80%.

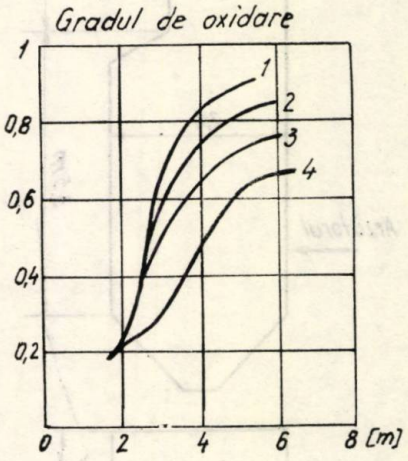


Fig. 13. Influența finеții de măcinare asupra arderii norului.

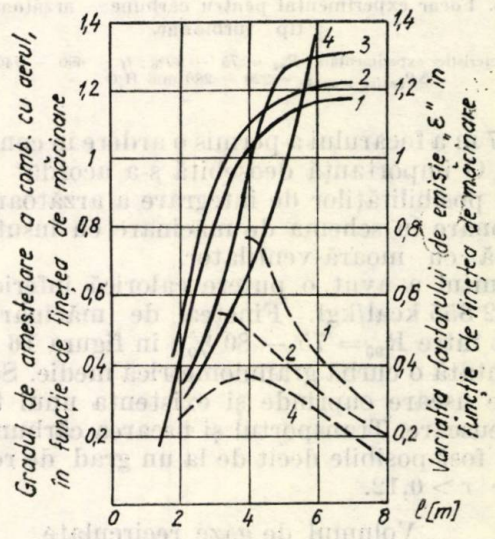


Fig. 14. Influența unor parametri funcționali asupra arderii.

valoare foarte importantă pentru schimbul de căldură prin radiația în focar.

Alura curbelor ce caracterizează amestecarea fazei solide cu aerul, în cazul unei turbionări medii, constă în tendința rămînerii particulelor grosiere în zona axială a turbionării față de particulele mai fine ce pot urma mai bine liniile de curent [5].

La Catedra de cazane de la Institutul politehnic București s-au făcut experiențe de ardere a lignitului de Șotînga într-un focar vertical cu baza de 2,4 × 1,2 m, focar echipat cu un arzător dublu turbionar de 200 kg/h, sarcină termică 0,4 Gcal/h (fig. 15). Înălțimea de

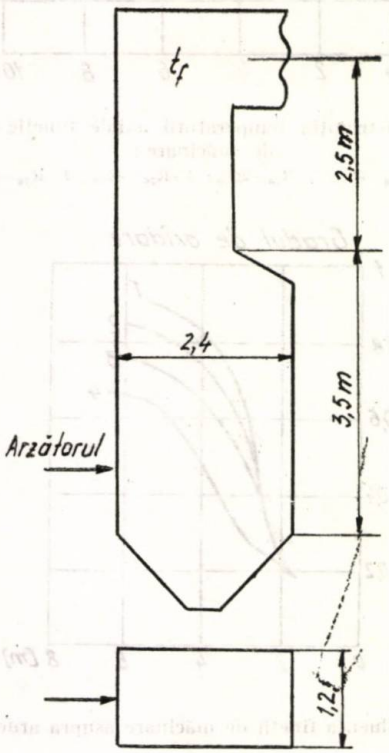


Fig. 15. Focar experimental pentru cărbune — arzătoare de tip turbionar.

Caracteristici experimentale: R_{90} = 75 — 80%; t_f = 690 — 740°C; $\Delta P_{ieșire\ moară}$ = 220 — 280 mm H_2O.

circa 7 m a focarului a permis o ardere în condiții bune. O importanță deosebită s-a acordat studiului posibilităților de integrare a arzătoarelor turbionare în schema de măcinare cu insuflare directă cu moară-ventilator.

Lignitul a avut o putere calorică inferioară Q_i^i = 2 855 kcal/kgf. Finețea de măcinare a variat între R_{90} = 75 — 80 %; în figura 16 este prezentată o curbă granulometrică medie. Schema de uscare cuprinde și existența unui turn de preuscare. Transportul și uscarea cărbunelui nu au fost posibile decît de la un grad de recirculare $r > 0{,}12$.

$$r = \frac{\text{Volumul de gaze recirculate}}{\text{Volumul total de gaze}} \qquad (9)$$

Un aspect funcțional studiat a cuprins influența poziției lancei de insuflare a prafului de cărbune ($l - a$ din fig. 10) asupra evoluției fenomenului de aprindere a norului de cărbune.

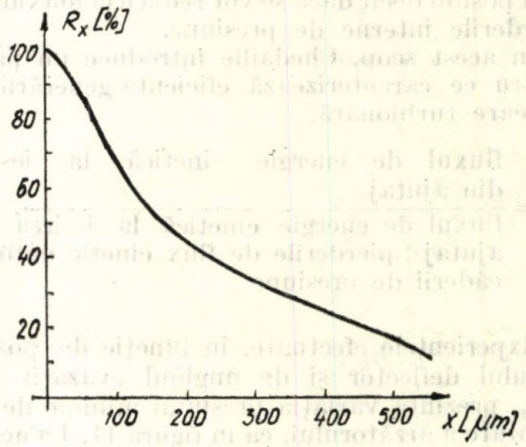


Fig. 16. Curba granulometrică medie a prafului de cărbune.

Funcționarea cu lancea retrasă a arătat o aprindere favorizată, conform figurii 17.

Experiențele au arătat o integrare acceptabilă a arzătorului turbionar în schema de preparare a prafului de cărbune, chiar la umi-

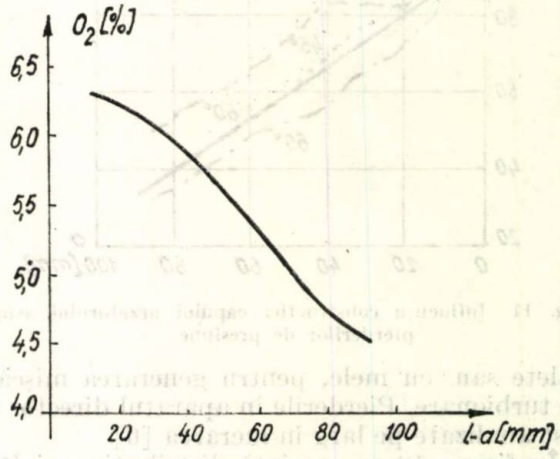


Fig. 17. Variația gradului de aprindere a norului de praf de cărbune, exprimat prin variația concentrației de oxigen în flacără, funcție de poziția lancei de insuflare a cărbunelui. Măsurarea s-a efectuat la o distanță de 1020 mm de la gura arzătorului.

dități mai ridicate, precum și o posibilitate de încărcare termică a focarului pe lignit pînă la 2 Gcal/h, încărcare de nerealizat prin alte procedee.

Concluzii

Lucrarea a trecut în revistă caracteristicile arzătoarelor turbionare de praf de cărbune. În final se prezintă și experiențele efectuate pe

un focar cu un arzător de 200 kg/h. Trecerea la echiparea focarului cu mai multe arzătoare nu ridică probleme, experienţele arătind o compunere vectorială a cîmpului de viteze la

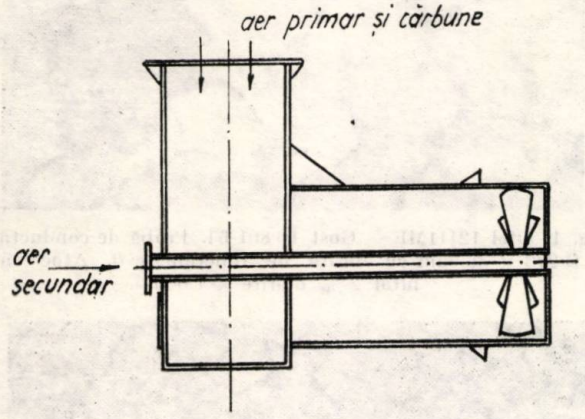


Fig. 18. Arzător cu autoturbionare.

interacţiunea aerodinamică a două jeturi turbionare vecine [7].

Pentru o apropiere de soluţia constructivă a arzătoarelor de tip fantă care au pierderi minime de presiune la transportul prafului de cărbune, păstrîndu-se totuşi avantajele jeturilor turbionate, se propune şi utilizarea unor arzătoare cu autoturbionare ca cel din figura 18. Avîndu-se în vedere cele expuse, se propune cercetarea în continuare a posibilităţilor de echipare a focarelor de dimensiuni reduse cu arzătoare de praf de cărbune de tip turbionar.

Bibliografie

[1] Chercea, G. *Posibilităţi de îmbunătăţire a aerodinamicii focarelor cu arzătoare tangenţiale.* Prima conferinţă a energeticienilor din R.S.R., octombrie 1974.

[2] Pănoiu, N. ş.a. *Dezvoltarea construcţiei şi calculului arzătoarelor pentru combustibili solizi inferiori.* În: Energetica, 22, nr. 5, 1974.

[3] Mihăescu, L. *Influenţa parametrilor constructivi şi funcţionali ai arzătoarelor asupra arderii.* Ref. doctorat, Catedra cazane şi turbine.

[4] Mihăescu, L. *Studii matematice privind structura jeturilor bifazice izotermice turbionate.* Sesiunea de comunicări ICPET, septembrie 1977.

[5] Chedaille, I. şi Lauckrel, W. *Flammes de mazout lourd et de charbon pulvérisé avec air de combustion en rotation et aérodynamique des écoulements tourbillons.* În: Rev. Gen. de Thermique, nr. 12, 1968.

[6] Ivanov, A. G. *Koefiţient soprotivleniia vihrevoi gorelki s povarotnimi tanghenţialnimi lopatkami.* În: Teploenerghetika nr. 7, 1971.

[7] Ahmedov, R. B. ş. a. *Vzaimodeistvie fakelov vihrevih gorelok i evo vlianie na teploobmen v topke.* În: Teploenerghetika, nr. 4, 1977.

(Articol intrat în redacţie la 15 noiembrie 1977)

Siguranţa în funcţionare a metalului conductelor de abur după expirarea duratei teoretice de utilizare

Ing. **Liana Turcu***)

În perioada de exploatare, conductele de abur care funcţionează la temperaturi şi presiuni ridicate se analizează periodic, în scopul stabilirii nivelului de evoluţie a fenomenului de fluaj şi pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice şi de structură a oţelului.

O parte din conductele de abur viu ale agregatelor de cazane şi turbine din centralele termoelectrice sînt executate din oţelul 12H1MF şi au funcţionat la temperaturi cuprinse între 540 şi 570°C.

Pentru determinarea stării în care se află metalul acestor conducte, s-au executat verificări pe tronsoane de control, ale căror rezultate s-au comparat cu cele de pe tronsoanele de probă din acelaşi oţel în stare iniţială (care nu a funcţionat).

Articolul prezintă unele elemente privind comportarea în exploatare a oţelului 12 H1MF, rezultate în urma lucrărilor executate în cadrul ICEMENERG asupra conductelor de abur viu după diferite durate de funcţionare, la presiunea nominală de 140 at.

Astfel, s-a analizat conducta de abur viu dreapta de la cazanul 4 din CET Brazi după 79 949 ore de funcţionare şi conducta de abur viu stînga a cazanului 4 din CET Borzeşti după 102 445 ore de funcţionare.

Temperatura nominală a aburului, precum şi intervalul de timp corespunzător acestei temperaturi, pentru fiecare conductă, sînt date în tabelul 1.

Această scădere a temperaturii aburului de la 570°C la 540°C s-a făcut ca urmare a:

— avariilor care au avut loc în supraîncălzitoarele convective din oţel 12H1MF ale cazanelor de 420 t/h;

Tabelul 1

Centrala	Cazanul	Temperatura aburului viu, °C	Durata de funcţionare ore
Brazi	4	565	36 049
		560	251
		555	14 429
		550	8 816
		540	25 371
Borzeşti	4	570	81 850
		540	20 595

*) Ing. Liana Turcu este cercetător ştiinţific principal la ICEMENERG.

— rezultatelor analizelor metalografice și ale încercărilor mecanice de scurtă durată obținute de ICEM, IPB și ICEMENERG pe probe prelevate din tronsoane de conducte, conform Instrucțiunii ISCIR C 29 — 67;

— reverificării efortului real în conducte, care este cu mult mai mare față de rezistența admisibilă la 570°C (pentru oțelul 12H1MF);

— anulării în 1971 a GOST 10801 și 10802, care prezentau caracteristicile materialelor termorezistente, fără a se preciza pînă în prezent alte norme.

Micșorarea temperaturii aburului viu de la 570°C (temperatura de proiect) la 540°C duce la o mărire importantă a duratei de serviciu a materialelor conductelor de abur viu și a supraîncălzitoarelor [6].

Pentru a analiza modul în care s-au comportat conductele din oțel 12H1MF la o durată de funcționare apropiată de 100 000 ore, sau mai mare, și a constata dacă aceste conducte mai pot fi utilizate în continuare, s-au folosit pentru comparare date privind caracteristicile medii statistice ale unor conducte din oțel 12H1MF în stare de livrare.

În tabelul 2 se prezintă analiza chimică a materialului conductelor analizate, precum și compoziția chimică a oțelului 12H1MF, conform GOST 10801 — 64.

O exploatare de lungă durată a oțelului 12H1MF la temperaturi ridicate duce la modificarea tuturor componentelor structurale [7]. Din produsele de disociere ale austenitei, cea mai puțin stabilă este perlita formată la revenire. Chiar după 15 000 ore de funcționare la temperatura de 565°C are loc o disociere totală a perlitei, cu apariția pe marginile granulelor a unor particule destul de mari, de tipul Me_3C. În ferită are loc disocierea intensă a soluției solide cu formarea de carburi speciale dispersate. Se observă o anumită creștere a particulelor de carburi în comparație cu starea inițială [7].

La oțelurile cercetate, structura inițială constă din ferită, perlită, bainită în proporții diferite și rare precipitări de carburi în interiorul grăunților de ferită (fig. 1). În timpul funcționării în condiții de fluaj, în structură au avut loc modificări importante, constînd în dezagregarea formațiunilor proentectoide existente în oțel în starea inițială și precipitarea de carburi în masa grăunților de ferită și pe limitele acestora (fig. 2*a* și *b*).

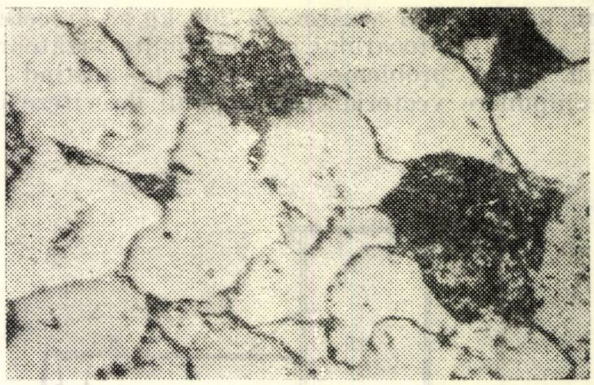
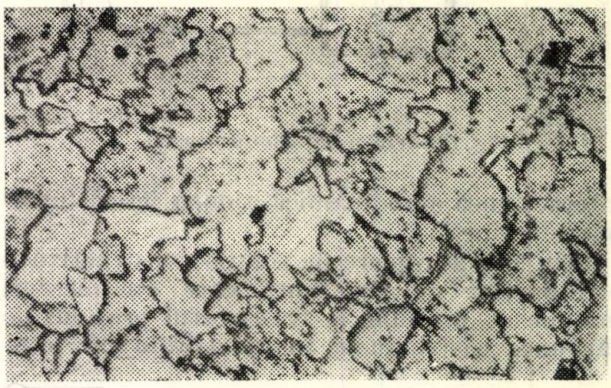
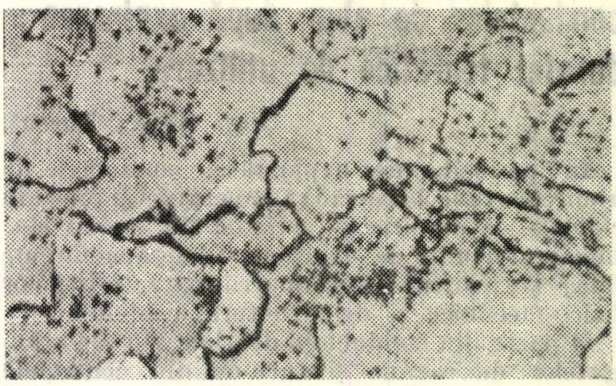


Fig. 1. Oțel 12H1MF — Gost 10 801-64. Probă de conductă de Ø 273 × 36 mm cu durată de funcționare 0. Atac cu nital 2%, mărire × 1 000



a)

Fig. 2 a. Oțel 12H1MF — Gost 10 801 — 64. Probă de conductă de Ø 273 × 36 mm cu durată de funcționare de 79 949 ore. Atac cu nital 2%; mărire × 500



b)

Fig. 2 b. Oțel 12 H1MF — Gost 10 801 — 64. Probă de conductă de Ø 273 × 36 mm cu durată de funcționare de 102 445 ore. Atac cu nital 2%, mărire × 1000.

Tabelul 2

Locul de prelevare	Dimensiunea conductei, mm	Conținutul în elemente, %							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P
Conf. GOST 10801—64		0,08 – 0,15	0,17 – 0,37	0,40 – 0,70	0,9 — 1,2	0,25 – 0,35	0,15 – 0,30	max. 0,025	max. 0,030
Cazan 4 CET Brazi	Ø273 × 36	0,135	0,32	0,69	1,15	0,26	0,25	0,020	0,020
Cazan 4 CET Borzești — stînga	Ø 273 × 36	0,130	0,29	0,67	1,15	0,26	0,25	0,022	0,025

Proprietăţile mecanice au fost determinate la temperatura mediului ambiant şi la temperaturi de 540 şi 570°C pe epruvete standard, debitate în direcţia transversală şi longitudinală din tronsoanele cercetate. Valorile medii obţinute prin încercări de tracţiune şi încovoiere prin şoc, valorile de catalog ale oţelului 12H1MF precum şi valorile medii statistice ale unor încercări de tracţiune şi rezilienţă efectuate pe tronsoane diferite din oţel 12H1MF în stare de livrare sînt prezentate în tabelul 3.

Aprecierea evoluţiei caracteristicilor de rezistenţă ($R_{0,2}$ şi R) ale materialului utilizat s-a făcut prin :

— raportarea valorilor medii obţinute pe materialul utilizat la valorile minime de catalog tabelul 4);

— raportarea valorilor medii obţinute pe materialul utilizat la valorile medii statistice obţinute pe acelaşi material în stare iniţială (tabelul 4).

Din analiza acestor date se desprind următoarele aspecte :

1. Faţă de valorile minime de catalog, limita de curgere la + 20°C prezintă o scădere de maximum 1,4% la valorile obţinute pe epruvete transversale provenite din conductele utilizate şi de maximum 5,8% la valorile obţinute pe epruvete longitudinale. Rezistenţa la rupere are valori superioare valorii de catalog.

2. Valorile medii obţinute pentru limita de curgere şi rezistenţa la rupere, pe material utilizat, sînt sensibil mai scăzute decît cele pentru starea iniţială. Scăderea este cu atît mai mare

Tabelul 3

Epruvete transversale

Marca oţelului şi dimensiunea conductei mm	Durata de exploatare, ore	T_{in} = 20 °C					T_{inc} = 540° C					T_{inc} = 570 °C				
		$R_{0,2}$ N/mm²	R N/mm²	A_5 %	Z %	KCU_2 J/cm²	$R_{0,2}$ N/mm²	R N/mm²	A_5 %	Z %	KCU_2 J/cm²	$R_{0,2}$ N/mm²	R N/mm²	A_5 %	Z %	KCU_2 J/cm²
— 12H1MF — valori medii statistice	0	317	488	23,0	70,0	210	220	313	22,8	80,0	126	207	287	23,7	84,5	125
— 12H1MF Ø 273 × 36	79 949	248	481	23,8	67,0	106	200	297	17,8	69,0	106	185	274	21,0	70,3	103
— 12H1MF Ø 273 × 36	102 445	246	477	21,6	70,1	122	184	292	18,6	69,6	148	180	270	18,0	70,4	140
— 12H1MF — valori pescrise		min 250	min 461	19,0	min 50	min 50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Epruvete longitudinale																
— 12H1MF — valori medii statistice	0	303	492	23,7	76,8	189	232	334	24,1	78,8	139	219	314	25,8	85,7	131
— 12H1MF Ø 273 × 36	79 949	255	525	21,2	72,8	199	207	303	27,6	76,2	210	190	280	28,0	78,0	220
— 12H1MF Ø 273 × 36	102 445	235	472	23,3	74,9	180	175	300	17,0	72,5	268	169	275	18,1	75,0	210
— 12H1MF — valori prescrise		250	461	21,0	55	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 4

Raportul dintre :	Caracteristica	Temperatura de încercare, °C					
		+ 20		+ 540		+ 570	
		epruvete longitudinale	epruvete transversale	epruvete longitudinale	epruvete transversale	epruvete longitudinale	epruvete transversale
— Valori medii pe conducta utilizată 79949 h şi valoarea minimă de catalog	$R_{0,2}$	1,02	0,994	—	—	—	—
	R	1,113	1,040	—	—	—	—
— Valori medii pe conducta utilizată 79949 h şi valori medii statistice pentru conducte în stare iniţială	$R_{0,2}$	0,843	0,784	0,893	0,91	0,870	0,896
	R	1,065	0,986	0,970	0,95	0,893	0,956
— Valori medii pe conducta utilizată 102445 h şi valoarea minimă de catalog	$R_{0,2}$	0,942	0,986	—	—	—	—
	R	1,022	1,032	—	—	—	—
— Valori medii pe conducta utilizată 102445 h şi valori medii statistice pentru conducte în stare iniţială	$R_{0,2}$	0,776	0,778	0,755	0,838	0,774	0,873
	R	0,960	0,978	0,900	0,950	0,876	0,942

cu cît durata de utilizare a conductelor este mai mare.

La temperaturile de lucru, odată cu creşterea duratei de exploatare, are loc o reducere a valorilor rezistenţei de rupere şi limitei de curgere a oţelului, iar proprietăţile plastice şi rezilienţa cresc în mod corespunzător.

Metalul conductelor de abur din instalaţiile energetice este necesar să aibă rezistenţă mare la temperaturi înalte. Drept criteriu principal serveşte valoarea efortului unitar la rupere de durată (la fluaj) la temperaturile de regim ale metalului.

Tabelul 5

Marca oţelului şi durata de utilizare	Sarcina N/mm²	Temperatura de încercare °C	Timp pînă la rupere h	Constanta Larson-Miller $P_1 \times 10^{-3}$
12H1MF utilizat 79 949 h	200	520	26	16,54
			83	16,93
		500	161	17,16
			362	17,43
		480	9	15,77
			91	16,52
	150	540	300	18,26
			370	18,34
		520	62	16,27
			854	18,18
		500	1 119	17,83
			4 307	18,26
	100	600	6 154	20,75
			(6 154)*	(20,75)
		580	1 262	19,70
		560	(5 128)*	(19,74)
			(5 128)*	(19,74)
12H1MF utilizat 102 445 h	200	520	33	17,05
			35	17,08
		500	105	17,02
			138	17,11
		480	32	16,18
			173	16,73
	150	540	402	18,37
			(5 834)	(19,31)
		520	369	17,89
			478	17,95
		500	46,3	16,74
			1656	17,94
	100	580	3 535	20,07
			(3 535)*	(20,07)
		560	(4 166)*	(19,67)
			(4 166)*	(19,67)
		540	1 072	18,71
			(2 648)*	(19,04)

*) Valorile trecute în paranteză sînt ale epruvetelor care nu s-au rupt.

Încercările de fluaj s-au făcut pe epruvete scurte (lungimea calibrată de 40 mm), cîte două puse în serie. Duratele pînă la rupere ale epruvetelor încărcate la diferite sarcini şi temperaturi sînt date în tabelul 5. În cursul încercărilor de durată nu s-a observat o fragilizare a metalului.

Extrapolarea datelor s-a făcut prin metoda Larson-Miller, utilizîndu-se pentru constanta de extrapolare valoarea $C = 20$, conform cu Instrucţiunea ISCIR C-29-1975. Cu această constantă de extrapolare, C, s-a calculat parametrul de extrapolare P_1 (tabelul 5). Cu aceste valori s-au trasat curbele de bază ale oţelului 12H1MF pentru diferite durate de utilizare, curbe care sînt reprezentate în figura 3. Ecuaţia curbelor de bază ale oţelului, conform acestei metode de calcul, este:

$R_0 = -15{,}65\ P_1 + 459{,}3$, pentru material utilizat 79 949 h;

$R_0 = -40\ P_1 + 885$, pentru material utilizat 102 445 h.

Valorile calculate ale rezistenţei tehnice de durată a materialului utilizat pentru o durată

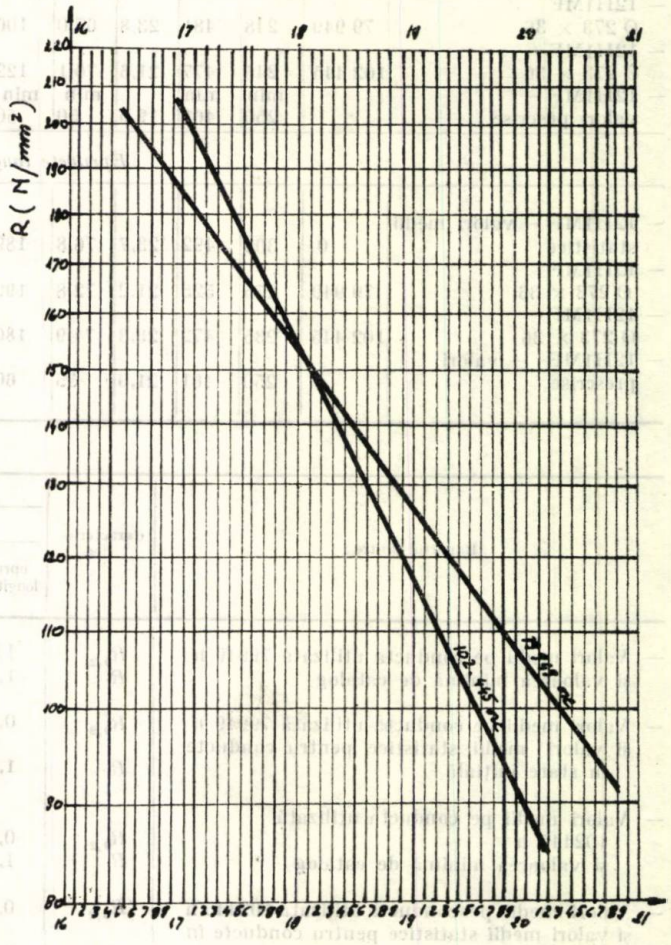


Fig. 3. Curbe de bază a oţelului 12H1MF utilizat 79 949 şi 102 445 ore în conducta de abur viu.

de 20 000 ore şi diferite temperaturi sînt date în tabelul 6, în care s-au trecut şi valorile de catalog ale oţelului 12H1MF, precum şi rezistenţa de durată pentru 10^5 ore după MRTU 14—4—21/67 şi după ŢKTI.

Tabelul 6

Caracteristici	Temperatura 550°C
$R_r/10^5$ N/mm², după GOST 10 801—64	110
$R_r/10^5$ N/mm², după ŢKTI	90
$R_r/10^5$ N/mm², după MRTU 14—4—21/67 79 949 h	100
$R_r/20000$ N/mm² conf. Larson—Miller 102 445 h	108
$R_r/20000$ N/mm², Larson — Miller	90
Rad, N/mm²	53
Valoarea raportului : $\frac{79\,949\text{ h}\quad R_r/20\,000}{\text{Rad}}$	2,04
Valoarea raportului : $\frac{102\,445\text{ h}\quad R_r/20\,000}{\text{Rad}}$	1,7

Se constată că pentru temperatura de 550°C valoarea rezistenţei tehnice de durată calculată ($R_r/20\,000$), pentru conducta care a lucrat 79 949 ore, este apropiată de valoarea de catalog prescrisă pentru oţelul 12H1MF în stare de livrare ($R_2/100\,000$) şi este superioară valorilor date pentru $R_r/100\,000$ ore de norma MRTU 14—4—21/67 şi de metoda ŢKTI.

Pentru aceeaşi temperatură de 550°C, valoarea rezistenţei tehnice de durată calculată ($R_r/20\,000$), pentru conducta care a lucrat 102 445 ore, este inferioară valorii de catalog prescrisă, precum şi valorii date de norma MRTU 14—4—21/67 pentru oţelul 12H1MF în stare de livrare ($R_r/100\,000$) şi aceeaşi cu valoarea dată după metoda ŢKTI.

Este necesar să se facă următoarele precizări :

1. Valorile trecute în paranteză în tabelul 5 sînt ale epruvetelor care nu s-au rupt ; de aceea curba de bază a oţelului este trasată cu valori minime.

2. Valoarea de catalog $R_r/100\,000$ prescrisă pentru oţelul 12H1MF la temperatura de 550 °C, şi cu care s-a comparat valoarea lui $R_r/200\,000$ ore pentru materialul utilizat, este o valoare medie a domeniului de împrăştiere a datelor experimentale determinate şi, în caz concret, ea poate fi cu 20% mai mică (8,8 kgf/mm², în loc de 11,0 kgf/mm²).

3. În cazul unor valori garantate ale caracteristicilor de fluaj la temperaturile de regim, este necesar să se respecte următorul raport :

$$\frac{R_{r/d}}{R_{ef}} \geqslant 1{,}5.$$

Solicitarea de regim admisibilă a metalului ţevilor cercetate de la conductele de abur, în cazul unei presiuni interioare $p = 140$ at, s-a determinat cu ajutorul formulei :

$$R_{ef} = \frac{P[D_{ext} - (\delta - c)]}{200\ (\delta - c)},$$

în care

D_{ext} = 273 mm este diametrul exterior al ţevii ;

δ = 32 mm — grosimea peretelui ţevii ;

c = 0,16 mm — toleranţa negativă admisă pentru grosimea teoretică a peretelui pentru ţevi cu diametre mai mari de 108 mm ; toleranţa negativă este de —5%.

Din tabelul 6 rezultă că valoarea raportului dintre rezistenţa tehnică de durată calculată şi rezistenţa efectivă din conductă este mai mare de 1,5. Se consideră deci că, din punctul de vedere al rezistenţei la fluaj, materialele tronsoanelor de probă decupate din conductele de abur viu mai prezintă o rezervă de capacitate de rezistenţă pentru temperaturi mai mici sau egale cu 550°C.

Concluzii

1. După o exploatare de 100 000 ore, la temperaturi cuprinse între 540 şi 570°C şi presiunea de 140 at, a conductelor de abur confecţionate din oţel 12H1MF, caracteristicile de rezistenţă şi plasticitate ale metalului se află la un nivel relativ ridicat.

2. Structura probelor după 100 000 ore de funcţionare prezintă un stadiu avansat de dezagregare şi este alcătuită din ferită şi carburi globulizate, în unele părţi aglomerate pe locul foştilor grăunţi de perlită şi bainită, iar pe alocuri, pe limitele grăunţilor de ferită carburile precipitate formează lanţuri. Aceasta nu reprezintă un criteriu de scoatere din funcţiune, deoarece oţelurile cercetate au şi în acest caz proprietăţi mecanice corespunzătoare.

3. Rezistenţa de durată la fluaj a oţelului după 100 000 ore de funcţionare, pentru temperatura de 550°C şi o durată de încă 20 000

ore este mai mică decît cea stabilită prin norme cu 10 — 20 N/mm². În cursul încercărilor de durată nu s-a observat o fragilizare a metalului.

4. Pe baza rezultatelor obținute și ținînd seamă de precizările indicate, se poate considera că conductele de abur din oțelul 12H1MF, care au fost cercetate, pot fi exploatate peste durata teoretică de calcul încă 20 — 25 0000 ore, la temperaturi de 550°C. După trecerea acestei perioade de timp este necesar să se repete analizele și încercările pe probe prelevate din aceeași porțiune de conductă.

Bibliografie

[1] Turcu, L. *Criterii de prelungire a duratei de funcționare a materialelor din echipamentele energetice peste durata de 100 000 ore.* ICEMENERG, 1973.

[2] Turcu, L. și Zabunov, A. *Cercetări pentru determinarea stării structurale a caracteristicilor mecano-metalurgice și a rezistenței de fluaj a oțelurilor din conductele de abur de la șase cazane din termocentrale.* ICEMENERG, 1976.

[3] Guliaev, V. N. *Metall o teploenergheticeskih ustanovkah.* Metallurghie, Moscova, 1969.

[4] * * * *Oțeluri pentru țevi,* Catalog M.I.M. — C.D.P.T., 1974.

[5] * * * *Instrucțiuni tehnice pentru controlul fluajului și modificărilor structurale ale oțelurilor conductelor și supraîncălzitoarelor de abur,* C 29 — 1975.

[6] Turcu, L. *Reducerea temperaturii aburului viu din instalațiile energetice.* În: Energetica, 22, nr. 10 — 11 — 12, 1974, p. 386 — 391.

[7] Berezina, T. G. și Mint, T. I. *Influența temperaturii de revenire asupra stabilității structurii oțelului 12H1MF în cursul exploatării.* În: Teploenerghetika, nr. 4, 1971.

(Articol intrat în redacție la 25 martie 1977)

Aspecte ale insularizării platformelor industriale

Ing. **L. Hajos***)

1. Generalități

Prezența marilor platforme industriale avînd consumatori deosebit de sensibili în ceea ce privește calitățile energiei electrice (frecvența și tensiunea) impune regimuri deosebite mașinilor sincrone instalate în imediata vecinătate. Acești consumatori provoacă variații bruște de energie activă și reactivă.

Șocurile de putere activă se repartizează între sistem și grupurile locale în funcție de puterile sincronizante și în funcție de momentele de inerție ale rotoarelor blocurilor din sistem, ele provocînd solicitări mecanice la arborii mașinilor locale. Mărimea șocurilor preluate de grupurile locale depinde de forma șocului, de mărimea lui și de energiile cinetice ale generatoarelor locale și ale sistemului. În primul moment șocul activ provoacă variația unghiului rotoric, după care repartiția șocului între sistem și grupul local se face sub influența regulatoarelor de viteză a turbinei. Dacă șocurile nu sînt bruște, blocurile locale preiau o mică parte, partea principală fiind preluată de sistem.

Șocurile reactive se repartizează pe sistem și pe grupurile locale în funcție de reactanțele tranzitorii. Aceste șocuri provoacă variații de tensiune a căror mărime depinde de puterea de scurtcircuit de pe bara generatorului.

O altă caracteristică importantă a marilor platforme industriale este aceea că nu suportă variațiile de tensiune importante produse de regimurile dinamice în sistemul energetic (scurtcircuite). Acestea produc perturbații în instalațiile de redresare, ducînd la aprinderea inversă a arcului; de asemenea produc perturbații în circuitele de comandă alimentate în curent alternativ. Aceste regimuri sînt greu de suportat de către generatoarele locale, de obicei ducînd la pierderea stabilității lor.

Pentru protejarea marilor consumatori importanți, sensibili la variații mari de tensiune, cît și pentru protecția blocurilor locale, se prevăd instalații de separare față de sistem a blocurilor locale și rămînerea lor în funcționare insulară cu consumatori vitali.

Condițiile de separare a blocurilor locale față de sistem sînt următoarele:

— separarea să se facă numai pe consumatori fără șocuri;

— separarea să fie direcționată la defecte în sistem;

— separarea să se facă înainte de a funcționa protecțiile de bază ale generatorului;

— separarea să se facă numai în cazurile în care nu a funcționat protecția de bază a liniei de sistem.

S-a constatat că protecția cea mai eficace constă dintr-o protecție de minimă tensiune, temporizată sau instantanee, combinată cu o protecție minimală de frecvență. Alegerea depinde de condițiile impuse constantei de viteză a motoarelor și de stabilitatea frecvenței în sistem.

În numeroase ramuri industriale, oprirea anumitor mașini urmată de o întrerupere a alimentării cu energie electrică poate produce pierderi considerabile. În unele cazuri este suficientă chiar o scădere a vitezei motoarelor pentru a împiedica întreruperile. În aceste instalații industriale, cu ajutorul surselor proprii de energie electrică se poate menține în permanență tensiunea și frecvența la valorile nominale la consumatorii vitali.

*) Ladislau Hajos este inginer proiectant la ISPE.

2. Schema platformei industriale

În regim normal, generatoarele locale funcţionează în paralel cu reţeaua exterioară şi nu furnizează decît o parte din puterea totală necesară, corespunzătoare consumatorilor vitali. Dacă se produce în reţeaua exterioară o perturbaţie astfel încît consumul de energie al instalaţiei depăşeşte puterea generatoarelor locale, este necesară separarea generatoarelor şi a consumatorilor vitali (fără şocuri) de reţeaua exterioară şi de celelalte sarcini. Generatoarele locale şi consumatorii vitali vor funcţiona într-un sistem independent, denumit „insulă". În insula astfel creată va exista un echilibru între sarcină şi puterea generată, cu condiţia ca puterea consumatorilor vitali să nu depăşească puterea disponibilă a turbinelor. Dacă puterea locală este furnizată de turbine cu contrapresiune, trebuie să se regleze viteza turbinelor în timp ce se face separarea.

În figura 1 este dată schema centralei electrice locale şi modul de alimentare a diverşilor consumatori. Consumatorii de pe platformă se pot împărţi în mai multe categorii din punctul de vedere al importanţei lor:

— consumatori vitali;
— consumatori importanţi;
— consumatori puţin importanţi;

sau din punctul de vedere al funcţionării:

— consumatori cu şocuri;
— consumatori liniştiţi (fără şocuri).

3. Consecinţele unei întreruperi în alimentare

O putere insuficientă debitată de reţeaua exterioară poate proveni sau din declanşarea unei unităţi generatoare, a unui transformator sau a unei linii, sau datorită unui scurtcircuit într-un punct apropiat al reţelei. O perturbaţie de primul gen dă naştere unei creşteri bruşte a sarcinii generatoarelor locale şi unui şoc de tensiune în instalaţie.

Curbele din figurile 2 şi 3 arată aproximativ modul de variaţie, cu condiţiile de funcţionare, a puterii şi a şocului de tensiune în timpul primelor secunde ale perturbaţiei. Pentru ridicarea curbelor s-a admis că sarcina este proporţională cu pătratul tensiunii şi s-a înlocuit acţiunea regulatoarelor de tensiune printr-o

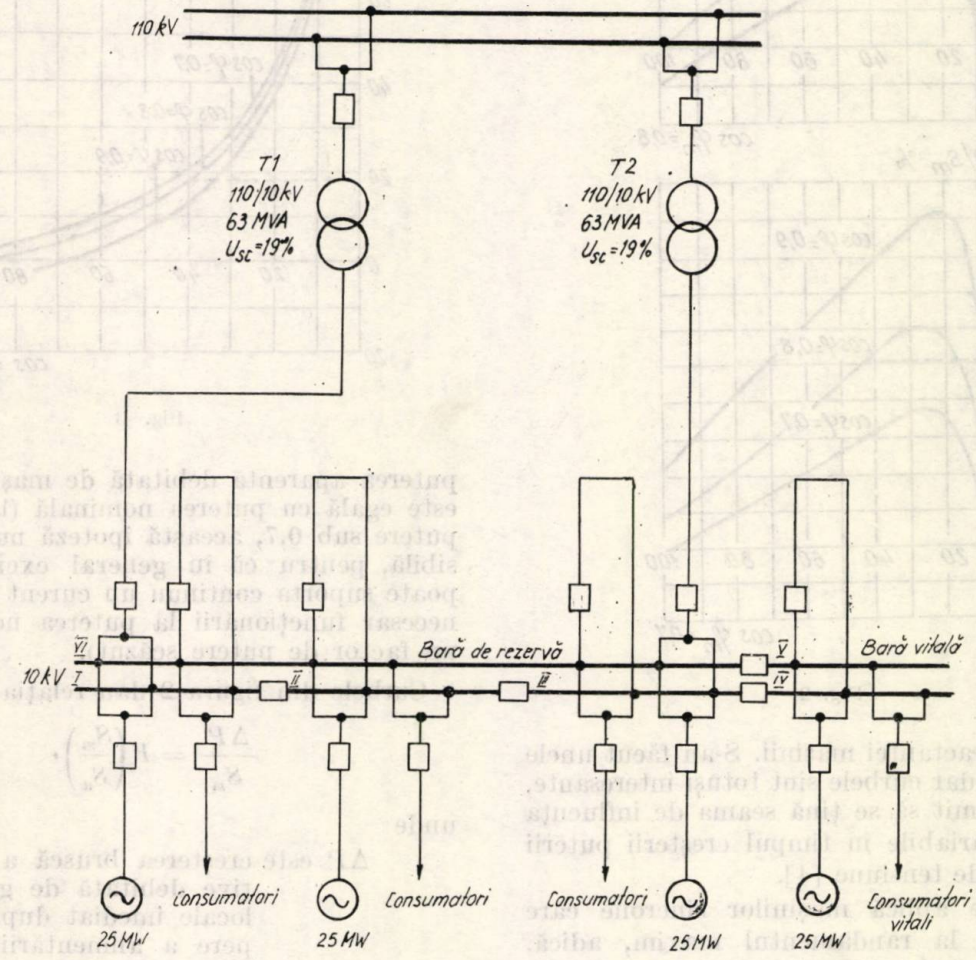


Fig. 1

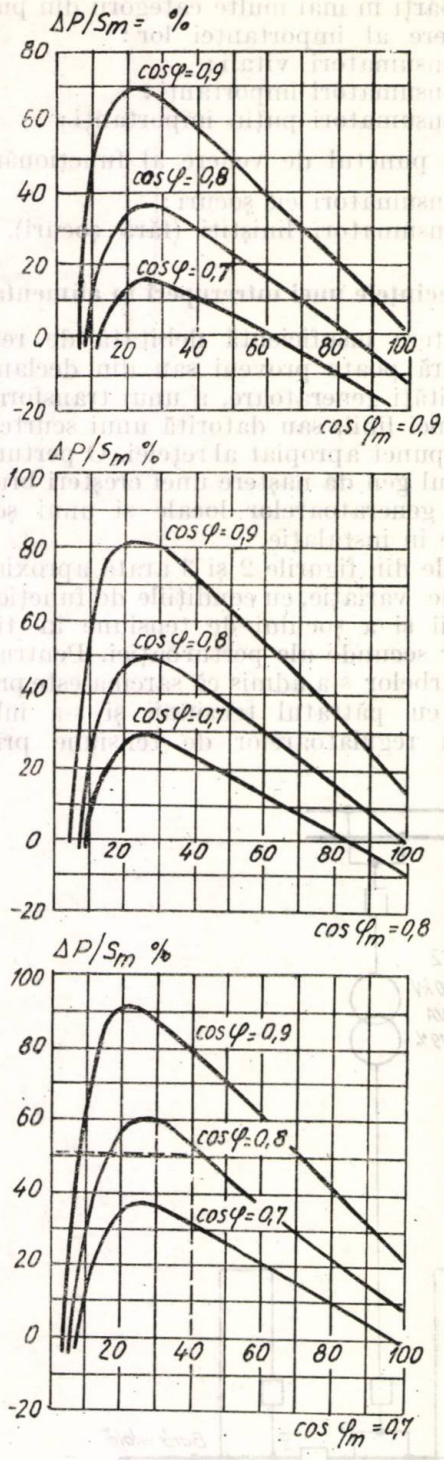


Fig. 2

reducere a reactanței mașinii. S-au făcut unele aproximații, dar curbele sînt totuși interesante, deoarece permit să se țină seama de influența mărimilor variabile în timpul creșterii puterii și a șocului de tensiune [4].

Curbele se aplică mașinilor sincrone care funcționează la randamentul maxim, adică, independent de puterea disponibilă a turbinei,

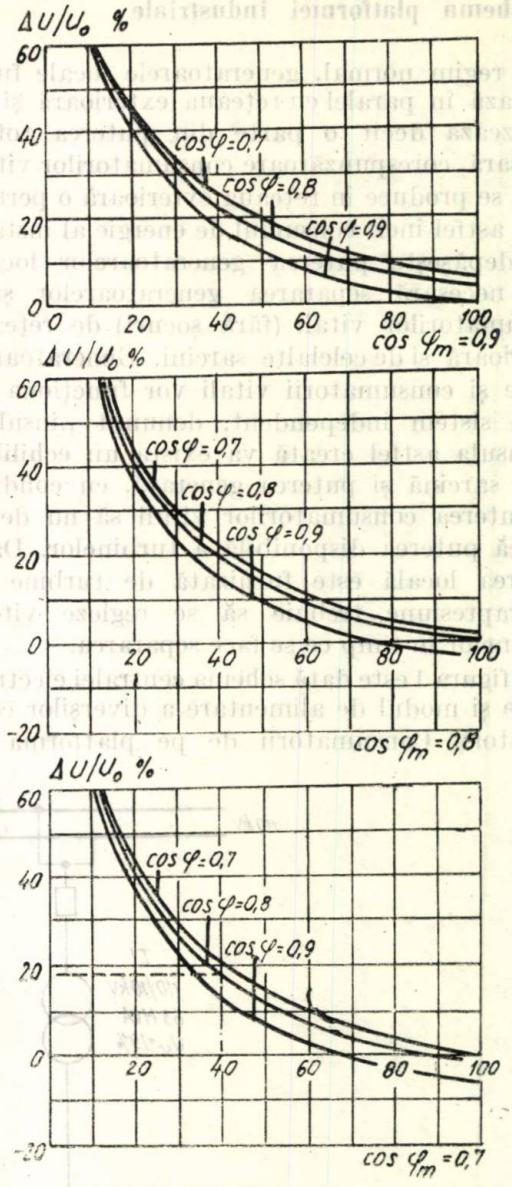


Fig. 3

puterea aparentă debitată de mașina sincronă este egală cu puterea nominală (la factori de putere sub 0,7, această ipoteză nu este admisibilă, pentru că în general excitatricea nu poate suporta continuu un curent de excitație necesar funcționării la puterea nominală sub un factor de putere scăzut).

Curbele din figura 2 dau relația :

$$\frac{\Delta P}{S_m} = F\left(\frac{S_m}{S_a}\right), \qquad (1)$$

unde

ΔP este creșterea bruscă a puterii active debitată de generatoarele locale imediat după o întrerupere a alimentării cu energie din rețeaua exterioară, kW;

S_m — puterea nominală globală a generatoarelor locale, kVA;
S_a — sarcina totală a instalației imediat înainte de perturbație, kVA;

Parametrii sînt:
— cos φ_a — factorul de putere al sarcinii;
— cos φ_m — factorul de putere al generatoarelor locale
(ambii parametrii înainte de perturbație).

Mărirea bruscă a sarcinii generatoarelor locale antrenează o încetinire a mașinii, adică o scădere de frecvență, iar derivata frecvenței este direct proporțională cu mărimea șocului de putere activă după relația (2):

$$\frac{1}{f_0}\frac{df}{dt} = -\frac{\Delta P}{S_m}\frac{1}{T}, \qquad (2)$$

unde

f_0 este frecvența nominală, Hz;
T — constanta de timp a accelerației rezultante a generatoarelor locale la puterea nominală și viteza nominală, s.

Se obține astfel direct viteza de variație a frecvenței imediat după perturbație, cu ajutorul curbelor din figura 2, împărțind valoarea reală $\Delta P/S_m$ cu constanta de timp T.

Curbele din figura 3 dau relația:

$$\frac{\Delta U}{U_0} = F\left(\frac{S_m}{S_a}\right), \qquad (3)$$

unde

ΔU este șocul de tensiune în timpul primelor secunde următoare perturbației.
U_0 — tensiunea nominală.

Curbele din figurile 2 și 3 arată că derivata frecvenței și șocul de tensiune depind de puterea generatoarelor locale raportată la sarcina totală a instalației, de factorul de putere al generatoarelor locale și de factorul de putere global al sarcinii.

Pe platforma industrială din figura 1, puterea generatoarelor locale atinge în etapa finală 40% din sarcina reală a instalației. Generatoarele funcționează la puterea nominală și $\cos\varphi = 0{,}7$, iar factorul global al instalației este $\cos\varphi = 0{,}8$. Dacă puterea furnizată de rețeaua exterioară dispare brusc, rezultă după curbele din figura 2 un șoc al sarcinii generatoarelor locale de aproximativ 52% din puterea nominală. Cu o constantă de timp de accelerație $T = 5$ s, viteza de variație a frecvenței este de aproximativ 10 %/s la 50 Hz, adică 5 Hz/s. Curbele din figura 3 indică un șoc de tensiune cauzat de perturbație de 18%.

Într-un mod general, o creștere a excitației generatoarelor locale, adică o reducere a factorului lor de putere simultan cu o creștere a factorului de putere a sarcinii antrenează un șoc de tensiune mai mic, dar o derivată a frecvenței mai mare. Aceste două măsuri implică o mărire a puterii reactive produse de instalație. Curbele arată, de asemenea, că în unele cazuri de funcționare se poate obține după perturbație o creștere a frecvenței și a tensiunii. Aceste cazuri nu prezintă decît o importanță teoretică, deoarece ele sînt excesiv de rare în practică. În cele mai multe din cazurile practice, o întrerupere de livrare a energiei de către rețeaua exterioară provoacă o scădere a frecvenței și tensiunii. Aceste două fenomene contribuie la încetinirea motoarelor electrice trifazate.

O perturbație provocată de un scurtcircuit persistent exterior antrenează o scădere bruscă și importantă a tensiunii. Motoarele din instalație încetinesc. În ceea ce privește frecvența, nu se poate emite o concluzie generală, deoarece un scurtcircuit persistent are ca efect nu numai o reducere a sarcinii, ci și o reducere a energiei livrate de rețea cu o valoare care depinde de locul scurtcircuitului, de impedanța arcului, precum și de felul scurtcircuitului (mono, bi sau trifazat).

Din punctul de vedere al instalațiilor de separare, se pot distinge două tipuri principale de instalații industriale:

a) instalații unde se dorește alimentarea fără întreruperi a consumatorilor vitali (motoare asincrone);

b) instalații la care se dorește împiedicarea scăderii inadmisibile a vitezei unor mașini sau instalații la care consumatorii vitali se compun din motoare sincrone.

Pentru instalațiile de tipul „a" principalul rol al protecției este de a restabili prin separare tensiunea la consumatori suficient de rapid pentru a se împiedica oprirea motoarelor. Consumatorii vitali sînt formați din motoare asincrone normale și motoare trifazate cu colector. Evident, această sarcină poate cuprinde și motoare sincrone, dar, cum riscul ieșirii din sincronism a unui motor sincron în cazul scăderii tensiunii este mai mare ca riscul opririi unui motor asincron, exigențele impuse protecției prin relee sînt mult mai severe decît pentru instalațiile care cuprind doar motoare asincrone.

În instalațiile de tipul „a", adică motoare asincrone, cuplul este proporțional cu pătratul componentei directe a tensiunii care fixează durata perturbației ce poate fi admisă. Așa cum se vede din figura 4, n_k este viteza critică sub care nu se poate coborî dacă se dorește ca motorul să repornească la revenirea tensiunii. Se consideră cuplul rezistent M_k constant. Caracteristica arată că separarea trebuie să fie mai rapidă pentru motoarele asincrone cu inele de contact decît pentru motoarele cu

rotorul în scurtcircuit, care suportă o încetinire mai lungă.

La viteze vecine sincronismului, cuplul unui motor asincron cu inele de contact poate fi

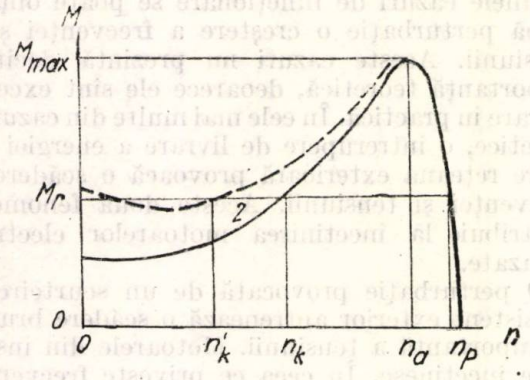


Fig. 4

exprimat cu o bună aproximaţie printr-o expresie matematică. Este deci posibil să se determine teoretic durata perturbaţiei admisibile în funcţie de şocul de tensiune, pentru că viteza maşinii nu coboară sub o valoare dată. După figura 5, scăderea de tensiune admisibilă este $n_1 - n_k$ rot/min. Curba *1* din figura 5 arată durata perturbaţiei admisibile în funcţie de şocul de tensiune pentru un motor asincron la un cuplu rezistent constant egal cu cuplul nominal M_n şi $M_{max} = 2M_n$. Durata perturbaţiei admisibile este exprimată de $T_a s_0$, în care T_a este constanta de timp a acceleraţiei globale a maşinii, iar $s_0 = \frac{n_1 - n_0}{n_1}$ — alunecarea la M_{max} şi tensiune nominală.

Pentru instalaţiile de tipul „b", rolul protecţiei este de a realiza o secţionare rapidă pentru a se împiedica scăderea vitezei motoarelor sub o valoare inadmisibilă la scăderea tensiunii sau frecvenţei. Acest tip de instalaţie impune condiţii mai severe vitezei de secţionare decît instalaţiile de tipul „a".

4. Insularizarea platformei

Automatica de separare trebuie să conţină o protecţie de minimă tensiune şi o protecţie de minimă frecvenţă. Protecţia de minimă tensiune acţionează la scurtcircuite exterioare, cînd în general scăderea tensiunii nu este însoţită de o scădere a frecvenţei. Protecţia de minimă frecvenţă acţionează în cazul unei întreruperi a alimentării din reţeaua exterioară cînd nu se produce în general o scădere sensibilă şi bruscă de tensiune.

În platforma industrială din figura 1 (combinat siderurgic), consumatorii vitali sînt formaţi din motoare asincrone, iar consumatorii importanţi din motoare asincrone şi sincrone. La acest tip de instalaţii de tip „a" (cap. 3), şocul de tensiune, respectiv scăderea componentei directe a tensiunii, constituie perturbaţia cea mai importantă. Durata maximă admisibilă a scăderii de tensiune este dată de curba *1* din figura 5. Această curbă indică în acelaşi timp şi durata maximă admisibilă a funcţionării releelor şi întreruptorului.

Este evident că în acest caz protecţia destinată să realizeze separarea trebuie să cuprindă în primul rînd o protecţie de minimă tensiune. Pentru a reduce la minimum numărul declanşărilor intempestive, adică declanşările datorite scăderilor de tensiune cu o durată inferioară celei dată prin curba *1* din figura 5, trebuie ca temporizarea protecţiei de minimă tensiune să depindă în principal de şocul de tensiune după această curbă. Pentru motoarele care alcătuiesc consumatorii vitali şi care prezintă pericolul de a se opri la scăderea tensiunii, în general $T_a > 2s$ şi alunecarea la cuplu maxim rareori este mai mică de 0,1 [4].

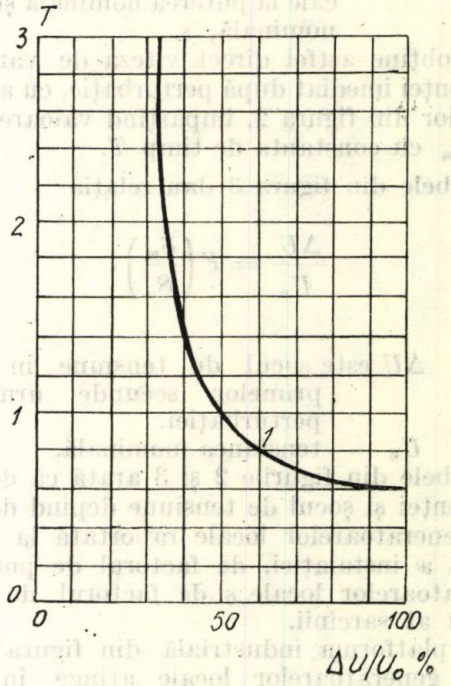


Fig. 5

După cum se vede din curbele din figura 3, după o slăbire a sursei exterioare, în cele mai multe din cazuri are loc o scădere imediată a tensiunii, pînă la valoarea reglată a releelor de minimă tensiune. Pe de altă parte, curbele din figura 2 indică cum, în practică, se produce, în astfel de cazuri, şi o scădere a frecvenţei. În consecinţă, automatica de separare trebuie completată totdeauna cu o protecţie de minimă frecvenţă.

Sînt extrem de rare cazurile în care frecvenţa reţelei scade sub 47 Hz şi este practic exclus

riscul ca protecţia de frecvenţă minimă să acţioneze şi pentru alte motive decît dispariţia alimentării din reţeaua exterioară. Releele de minimă frecvenţă trebuie să acţioneze numai dacă componenta directă a tensiunii scade sub 70%. În această gamă de reglaj, valoarea de acţionare a releelor este independentă de tensiune.

Protecţia de minimă tensiune trebuie completată cu un blocaj direcţional, deoarece separarea poate fi eficace numai în cazul în care fenomenul perturbator care a provocat şocul de tensiune este situat în sistem (şi deci după insularizare platforma poate reveni la parametrii normali). Releele direcţionale vor acţiona la sensul de curgere a puterii şi se vor monta pe două faze pentru reţelele cu neutrul izolat şi pe trei faze pentru reţelele cu neutrul pus la pămînt. Avînd în vedere apariţia unei importante componente reactive a curentului de scurtcircuit, releele direcţionale se vor alege astfel încît caracteristica de acţionare să permită detectarea acestei componente.

Prin acţionarea protecţiei de minimă tensiune (cu blocaj direcţional) şi a protecţiei de minimă frecvenţă (tranşa 1), se comandă deconectarea întreruptorului I_c. Totodată, prin tranşa 2 a protecţiei de minimă frecvenţă se comandă regulatorul de suprapresiune al turbinei generatorului local.

5. Funcţionarea în „insulă"

După separare, consumatorii rămîn alimentaţi din reţeaua exterioară, generatorul local continuînd să alimenteze doar consumatorii vitali, trebuind ca în „insula" astfel creată să se realizeze o funcţionare stabilă [5].

În primul moment după separare sînt două posibilităţi de funcţionare:

a) necesarul de energie este superior energiei disponibile $\Delta P < 0$;

b) necesarul de energie este mai mic decît energia pe care o poate produce grupul local $\Delta P > 0$.

$$\Delta P = P_G - P_S \qquad (4)$$

în care

P_G este puterea generată de generatorul local;

P_S — puterea totală a sarcinii vitale.

În ambele cazuri viteza turbinelor variază, deoarece ea nu mai este menţinută constantă de reţeaua exterioară.

În cazul „a" frecvenţa scade, iar în cazul „b" creşte. Regulatorul de viteză trebuie să asigure menţinerea frecvenţei la o valoare constantă. Aceasta nu este posibil să se realizeze dacă energia produsă este inferioară sau superioară necesităţilor consumatorilor. Creşterea frecvenţei poate fi sesizată de un releu de frecvenţă maximă. Pentru o creştere a frecvenţei de 0,5 Hz, grupul local este comutat de la reglajul de contrapresiune pe reglajul de viteză. În cazul „a" trebuie să se facă o descărcare a sarcinii (în 1 — 2 tranşe), prin care să se realizeze o creştere a frecvenţei. Releul de minimă

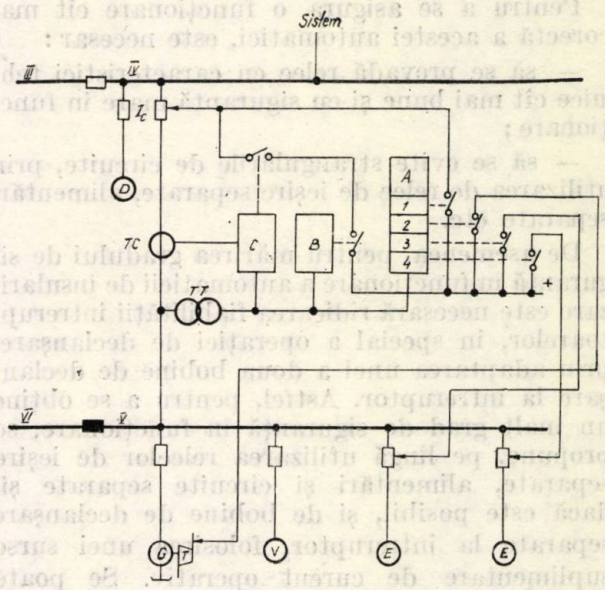


Fig. 6

A — protecţie de minimă frecvenţă; *B* — protecţie de minimă tensiune; *C* — blocaj direcţional; *D* — consumatori puţin importanţi; *E* — consumatori importanţi; *G* — grupul local; *T* — turbină; *V* — consumatori vitali şi servicii interne.

frecvenţă realizează descărcarea automată a sarcinii, după un program stabilit în prealabil, în tranşe, pînă ce apare un exces de putere şi regulatorul de viteză poate să-şi reia funcţiile. Pentru a se realiza astfel de descărcări sînt necesare relee de frecvenţă sigure, rapide, cu un coeficient de revenire ridicat şi posibilităţi fine de reglaj. (Stabilirea tranşelor şi a temporizărilor se poate face conform formulelor date în [8]).

După eliminarea perturbaţiei exterioare, centrala locală poate fi pusă în paralel cu reţeaua exterioară. Aceasta se poate realiza cu un aparat de sincronizare automată, care, în momentul în care tensiunea, frecvenţa şi unghiul reţelei „insulă" sînt adaptate la tensiunea, frecvenţa şi unghiul reţelei exterioare, comandă închiderea întreruptorului I_c. Dacă paralelul a reuşit, grupul local este din nou comutat pe reglajul de contrapresiune şi regimul normal de funcţionare a fost restabilit [5].

Instalaţia de insularizare descrisă mai sus, respectiv criteriile de separare se pot completa şi cu alte criterii, cum ar fi:

— separarea grupului local pe consumatorii vitali în caz de pendulaţii în sistem;

— separare la variaţii în timp ale frecvenţei (df/dt) şi altele.

6. Siguranța în funcționare

Introducerea automaticii de insularizare reprezintă o măsură de siguranță, adoptată pentru a putea asigura continuitatea în alimentare a consumatorilor mai importanți de pe platformă la perturbații în sistemul energetic.

Pentru a se asigura o funcționare cît mai corectă a acestei automatici, este necesar :

— să se prevadă relee cu caracteristici tehnice cît mai bune și cu siguranță mare în funcționare ;

— să se evite strangulările de circuite, prin utilizarea de relee de ieșire separate, alimentări separate etc.

De asemenea, pentru mărirea gradului de siguranță în funcționare a automaticii de insularizare este necesară ridicarea fiabilității întreruptoarelor, în special a operației de declanșare, prin adaptarea unei a doua bobine de declanșare la întreruptor. Astfel, pentru a se obține un înalt grad de siguranță în funcționare, se propune, pe lîngă utilizarea releelor de ieșire separate, alimentări și circuite separate și, dacă este posibil, și de bobine de declanșare separate la întreruptor, folosirea unei surse suplimentare de curent operativ. Se poate merge și pînă la dublarea releelor care comandă insularizarea, dar, avînd în vedere complexitatea acestor relee, dificultățile de procurare, precum și prețul ridicat și faptul că separarea automată este comandată de mai multe criterii (minimă tensiune, minimă frecvență, pendulații și altele), la această măsură se poate renunța.

În [6] este dată o soluție de utilizare a unei surse de curent operativ suplimentară. Această soluție este extrem de simplă și mult mai ieftină decît folosirea unei a doua baterii de acumulatoare. În continuare se va descrie modul de utilizare a acestei soluții în cazul insularizării platformei din figura 1.

Soluția constă dintr-un dispozitiv DCA produs de ICEMENERG. Aparatul constă dintr-o capacitate care se încarcă cu tensiunea redresată a înfășurării secundare a unui transformator de tensiune. Sursa de alimentare pentru cazul din figura 1 o constituie transformatorul de tensiune 10 000/100 V al secției respective. În regim normal de funcționare, condensatoarele C_1 se încarcă și înmagazinează energie. În regim de perturbație, condensatoarele se descarcă, comandate de releele de minimă frecvență sau de minimă tensiune, pe bobina de declanșare a întreruptorului, producînd insularizarea (în cazul în care întreruptorul este echipat cu două bobine de declanșare, condensatoarele se vor descărca pe cea de-a doua bobină).

Caracteristicile aparatului DCA sînt următoarele :

— tensiune de alimentare	$100/\sqrt{3}$; 100 ; 120 ; 220 Vc.a.
— tensiune de ieșire	220 Vc.c.
— capacitate	70 μF
— timpul de încărcare	2,5s

Descărcarea condensatoarelor se face într-un timp scurt, energia fiind necesară numai pentru acționarea bobinei de declanșare a întreruptorului (conform probelor efectuate de autor la CET București-sud). Dispozitivul este prevăzut de asemenea cu o lampă pentru verificarea stării de încărcare a condensatoarelor. Puterea înmagazinată în condensatoare nu este suficientă și pentru acționarea unui releu de timp de curent continuu. Renunțarea la temporizare în condițiile lipsei curentului continuu este justificată deoarece, oricum, nu se mai poate asigura funcționarea selectivă a automaticii. Astfel, automatica de insularizare, în lipsa curentului continuu de la baterie, va acționa instantaneu asupra întreruptorului I_c, dar numai la apariția unei perturbații în sistemul energetic.

În schema de curent continuu este intercalat un releu intermediar, avînd rolul de a supraveghea prezența curentului operativ dat de baterie (+ și — în figura 7).

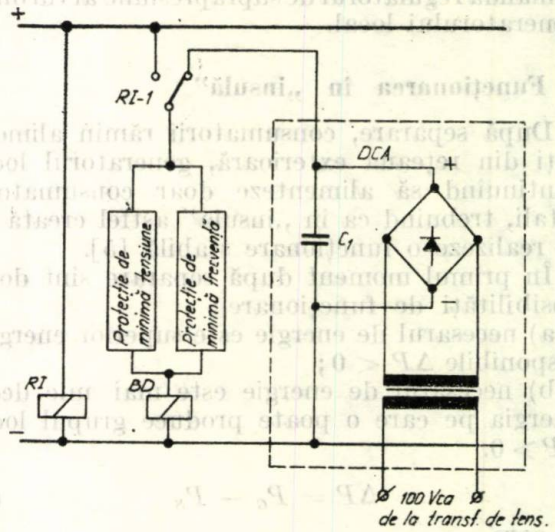


Fig. 7

În cazul în care sursa de curent operativ continuu a căzut sau s-a întrerupt, iar în sistemul energetic se produce o perturbație, conform celor descrise în capitolele anterioare, protecțiile de minimă tensiune și frecvență acționează ; releul de supraveghere RI se dezexcită și-și comută contactele, astfel încît condensatoarele se descarcă rapid pe bobina de declanșare a întreruptorului.

Folosirea acestei soluții prezintă, pe lîngă avantajul ieftinității ei, și pe acela că oferă un grad sporit de siguranță prin aceea că dis-

pozitivul DCA este o sursă locală automată înglobată în celula de cuplă fără a necesita o rețea de distribuție ramificată.

Propunem utilizarea acestei surse suplimentare de curent operativ, pe lîngă secțiile de servi-

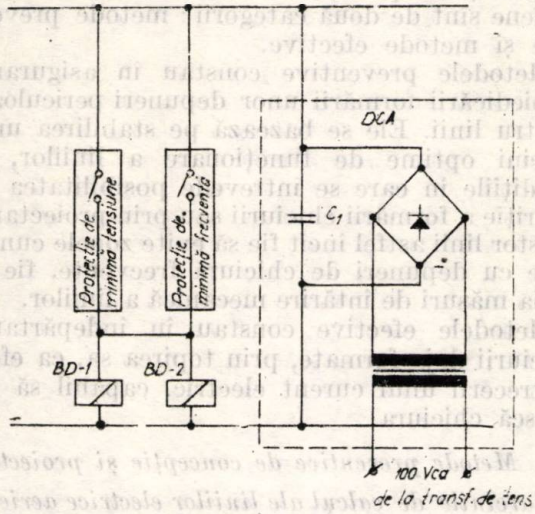


Fig. 8

cii interne ale centralelor termoelectrice, și la automatizările de sistem, deoarece prezintă o multitudine de avantaje care contribuie la ridicarea considerabilă a gradului de fiabilitate a instalației respective.

În cazul în care întreruptorul este echipat cu două bobine de declanșare, se propune realizarea schemei din figura 8, unde se trimit comenzi simultane, de la elementele de ieșire ale instalației de separare la ambele bobine de declanșare. Bobina principală *BD*-1 va fi acționată cu tensiunea operativă a bateriei stației, iar bobina de declanșare auxiliară *BD*-2 va fi acționată cu tensiunea operativă dată de sursa suplimentară. În acest fel se poate asigura un înalt grad de fiabilitate pentru instalația de separare.

Bibliografie

[1] Markovici, I. M. *Sisteme energetice — regimuri de funcționare.* Editura tehnică, București, 1960.

[2] Badea, I. ș.a. *Protecția prin relee și automatizarea sistemelor electrice.* Ediția a II-a. Editura tehnică, București, 1973.

[3] Călin, S. ș.a. *Protecția prin relee a sistemelor electrice.* Ediția a II-a, Editura tehnică, București, 1975.

[4] Skoglund, B. *Sectionnement automatique des installations industrielles comprenant une charge favorisée.* În: Revue ASEA.

[5] Magajna, P. *Dispositif automatique de séparation du réseau pour centrales industrielles.* BBC CH-ES 39 —10F.

[6] Hajos, L. *Folosirea unei surse de rezervă de curent operativ alternativ în celulele de alimentare a serviciilor interne.* În: Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, ODE, nr. 12, 1973.

[7] Hajos, L. *Particularități și tendințe moderne în realizarea protecțiilor prin relee.* Sesiunea de comunicări tehnico-științifice, București, 1973.

[8] Chenzbraun, I. *Folosirea descărcării automate a sarcinii la scăderea frecvenței în sistemul energetic.* În: Energetica nr. 6, 1970.

[9] Lokay, H. E. ș.a. *Application of underfrequency relays for automatic load shadding.* În: IEEE Transactions Power Apparatus and Systems, 87, nr. 3, 1968.

(Articol intrat în redacție la 23 februarie 1978)

Considerații privind deschiderea liniilor electrice aeriene

Dr. ing. **L. M. Goia***)

Din totalul de incidente pe liniile electrice aeriene de înaltă tensiune, peste 20% se datorează chiciurii și vîntului. Ele se produc fie datorită intensificării vîntului, care acționează pe conductoarele acoperite anterior cu depuneri, fie datorită apariției poleiului sub acțiunea vîntului.

Aceste fapte motivează preocupările susținute și aprofundate care au în vedere limitarea efectelor negative ale depunerilor de gheață pe conductoarele liniilor electrice aeriene.

În țara noastră se aplică de mult timp metoda de deschiciurare a liniilor cu depuneri periculoase, prin legarea în scurtcircuit la un capăt și alimentarea de la capătul opus, cu o tensiune corespunzătoare pentru crearea curentului de topire [1].

Experiența îndelungată cu această metodă a arătat că există dificultăți obiective legate de aplicarea ei în practică, și anume:

— durata mare a procesului de deschiciurare;

— scheme de deschiciurări complicate, implicînd multe manevre;

— pe timpul deschiciurării se impune scoaterea din funcțiune a unor instalații de protecție;

— necesitatea montării unor scurtcircuitoare mobile la capetele liniilor și la bornele unor reductoare de curent;

— dificultatea stabilirii momentului optim de începere a deschiciurării;

— uneori curentul de deschiciurare nu este suficient de mare pentru topirea chiciurii; alteori, în schimb, fiind prea mare, produce deteriorări în unele elemente de circuit (cleme de legături, borne de aparate etc.).

*) Dr. ing. Laurențiu M. Goia este cercetător științific principal la ICEMENERG.

În aceste condiţii prezintă interes reanalizarea oportunităţii aplicării metodelor de deschiciurare şi studierea unor posibilităţi de perfecţionare a metodelor actuale.

1. Oportunitatea deschiciurării

Problema oportunităţii deschiciurării este obiectul unor controverse serioase, remarcîndu-se două opinii şi tendinţe diametral opuse :

— Prima consideră metoda de topire a gheţii complicată, greoaie şi neeconomică, aplicarea ei solicitînd eforturi deosebite din partea exploatării.

Incertitudinea legată de modul de evoluţie a depunerilor şi de comportarea liniei, în ipoteza neaplicării metodei, face să scadă mult încrederea în oportunitatea şi eficienţa ei.

— A doua tendinţă consideră deschiciurarea ca o metodă infailibilă, aplicabilă pe scară largă, cu efecte pozitive în creşterea siguranţei în funcţionare a liniilor şi deci a sistemului energetic în ansamblu.

Trebuie subliniat că acceptarea oricăreia dintre cele două tendinţe extreme conduce la consecinţe negative. Acceptarea primei tendinţe măreşte considerabil numărul de avarii deoarece practica a demonstrat că , în peste 50% de cazuri, deschiciurarea a avut efectele scontate. Acceptarea celei de-a doua tendinţe ar conduce la renunţarea la unele măsuri de siguranţă mecanică, ceea ce este deosebit de periculos, ştiind că deschiciurarea nu asigură în toate cazurile topirea stratului de gheaţă depus.

Cum deschiciurarea implică retragerea din exploatare a liniei şi consum important de energie, luarea deciziei de deschiciurare este o problemă dificilă. Deschiciurarea prematură provoacă pagube prin eventuala întrerupere a consumatorilor şi prin energia pierdută, iar întîrzierea începerii deschiciurării poate să o facă ineficientă. Din aceste motive prezintă importanţă cunoaşterea condiţiilor de calcul al liniei şi a condiţiilor locale meteorologice, pentru a putea stabili momentele în care apar sarcini suplimentare, depăşind prevederile din calcul.

Utilizarea unor soluţii de evitare a depunerilor, prin încălzire preventivă, reduce în mare măsură problemele deschiciurării (în cele ce urmează, sub denumirea de deschiciurare se vor înţelege atît operaţiile de încălzire preventivă, cît şi cele de topire a gheţii deja formate).

Prin măsurile tehnice şi organizatorice ce vor fi prezentate, se poate asigura o simplificare a metodelor de deschiciurare. În aceste condiţii, obiecţiile formulate faţă de deschiciurare devin tot mai puţin justificate. Ea trebuie aplicată însă cu discernămînt, în zonele cu depuneri frecvente de chiciură, confirmate de experienţa de exploatare, momentul adoptării deciziei de deschiciurare fiind bazat pe o avertizare obiectivă.

2. Combaterea efectelor depunerilor

Metodele de combatere a efectelor depunerilor de gheaţă de pe conductoarele liniilor electrice aeriene sînt de două categorii : metode preventive şi metode efective.

Metodele preventive constau în asigurarea împiedicării formării unor depuneri periculoase pentru linii. Ele se bazează pe stabilirea unor sarcini optime de funcţionare a liniilor, în condiţiile în care se întrevede posibilitatea de apariţie a formării chiciurii sau prin proiectarea acestor linii astfel încît fie să evite zonele cunoscute cu depuneri de chiciură frecvente, fie să se ia măsuri de întărire mecanică a liniilor.

Metodele efective constau în îndepărtarea chiciurii deja formate, prin topirea sa, ca efect al trecerii unui curent electric, capabil să topească chiciura.

2.1. *Metode preventive de concepţie şi proiectare*

Sarcinile de calcul ale liniilor electrice aeriene. Dorinţa de a evita avariile ar conduce la cererea de a se proiecta liniile pentru sarcinile maxime ce pot apărea pe linie (vînt maxim simultan cu depunere maximă). Acest lucru este însă neacceptabil din punct de vedere economic. Se tinde ca în viitor sarcinile de calcul să se aleagă pe baza statisticii depunerilor de chiciură şi a curbelor clasate ale vitezei vîntului simultan cu o anumită grosime de chiciură, înregistrate pentru o perioadă îndelungată.

Limitarea efectelor depunerilor de gheaţă prin adoptarea unor sarcini de calcul optime prezintă o importanţă deosebită la noi în ţară, în special în legătură cu conductoarele de protecţie, care nu se vor putea deschiciura, deoarece, conform normelor, se leagă la pămînt la toţi stîlpii. Astfel, chiar în ipoteza că se adoptă în exploatare şi soluţii de evitare a avariilor (preîncălzirea conductoarelor active, topirea chiciurii), eficacitatea lor poate fi redusă datorită prezenţei chiciurii pe conductoarele de protecţie.

În acest sens, adoptarea unor sarcini de calcul chibzuite trebuie să fie un deziderat major al activităţii de norme şi prescripţii.

Este necesar de asemenea să se sublinieze că în anumite zone în care experienţa de exploatare o justifică, se pot adopta în proiectare sarcini de calcul mai severe ca în normativ, pentru a se asigura condiţii normale de exploatare.

Evitarea depunerilor prin metode de proiectare. La proiectarea liniilor electrice aeriene sînt o serie de condiţii tehnico-administrative care lasă puţine grade de libertate proiectantului în stabilirea traseului. Cu toate acestea, o mare eficacitate în combaterea efectelor chi-

ciurii o are alegerea unui traseu judicios care defavorizează apariţia depunerilor.

De asemenea, pentru cazul în care traseul stabilit parcurge zone cu condiţii grele meteorologice, încă din faza de proiectare trebuie luate măsuri de întărire a elementelor liniilor.

Din punctul de vedere al alegerii traseului se pot distinge trei situaţii :

— traseul ales pentru linie poate evita zonele cu pericol fără suplimentarea lungimii;

— zonele periculoase pot fi evitate cu o lungire a traseului justificată tehnic şi economic ;

— evitarea zonelor periculoase devine mai costisitoare decît consolidarea suplimentară a unor porţiuni de traseu sau adoptarea metodelor de exploatare.

Principiul de bază ce trebuie avut în vedere pentru diminuarea depunerilor este acela de a evita pantele şi coastele perpendiculare pe direcţia curenţilor bogaţi în umiditate (de provenienţă maritimă), deoarece pe pantă curenţii de aer se accelerează, mărind pericolul depunerilor.

Se vor evita, de asemenea, trecătorile care favorizează translarea unor cantităţi mari de aer, intensificînd depunerile [2], [3].

De fapt alegerea judicioasă a traseului unei linii trebuie făcută nu numai pe considerentul reducerii depunerilor, ci şi pentru evitarea vînturilor puternice.

În acest sens este bine să se evite coamele golaşe ale dealurilor.

O importanţă deosebită o prezintă în acelaşi context alegerea culoarelor de intrare ale liniilor electrice aeriene în staţii.

Este obligatoriu ca la intrările în staţiile importante liniile să evite normalitatea pe direcţia vîntului dominant. Intrările în staţii se vor proiecta cu coeficienţii de siguranţă diferenţiaţi, pentru a nu fi deteriorate toate concomitent.

2.2. *Metode preventive de exploatare (încălzirea preventivă)*

Ţinînd seama de multitudinea factorilor aleatorii care guvernează procesul de formare a depunerilor solide şi de dificultatea metodelor de topire, multe exploatări din ţări cu experienţă în combaterea chiciurii (U.R.S.S., Canada) [2] se preocupă de asigurarea condiţiilor termice necesare pentru a împiedica apariţia chiciurii pe conductoare. Aceasta se obţine prin stabilirea unei circulaţii de putere care să împiedice răcirea conductorului sub 0°C.

Valorile curenţilor de preîncălzire se determină conform relaţiei (1) [4] (relaţie empirică, uşor de aplicat practic, valabilă pînă la altitudinea de 500 — 700 m, în atmosferă liniştită cu temperatura $\theta_a = -10°C$) :

$$I = 7{,}05 \sqrt{\frac{\theta_a}{\rho}}\, d^{1{,}2}, \qquad (1)$$

în care

I este curentul de încălzire, A;
d — diametrul conductorului, cm;
θ_a — temperatura aerului, °C;
ρ — rezistivitatea conductorului la 15°C, $\Omega\,mm^2/m$.

Valorile curenţilor de preîncălzire reprezintă mai puţin de 50 — 60% din curenţii de topire obişnuiţi.

Acest lucru este avantajos, conducînd la pierderi mai mici de energie, precum şi la posibilităţi mai uşoare de asigurare a sursei necesare operaţiei.

Principalele avantaje ale metodei constau în expeditivitatea şi simplitatea ei, adaptabilitatea la toate felurile de depunere, aplicarea ei în majoritatea condiţiilor meteorologice posibile şi în uşurinţa adoptării deciziei de preîncălzire, deoarece metoda nu implică manevre multe, întreruperi ale consumatorilor sau modificări în circuitele de protecţie.

Soluţia se poate aplica prin scoaterea din funcţiune a unor linii vecine mai puţin periclitate, închiderea unor bucle concomitent cu deschiderea altora, creşterea tensiunii pe barele de medie tensiune, creşterea puterilor pe centralele ce debitează pe liniile respective, conectarea unor transformatoare în gol etc.

În cazul în care aceste soluţii se dovedesc insuficiente, se poate utiliza soluţia cu forţarea circulaţiei de putere reactivă în buclă, folosind transformatoarele cu reglaj sub sarcină sau autotransformatoarele din reţele (fig. 1).

Metoda permite în multe cazuri să se atingă şi curenţii necesari pentru topirea chiciurii deja formate, simplificînd mult tehnologia obişnuită de deschiciurare.

2.3. *Metode efective*

Metodele efective constau în eliminarea depunerilor deja formate pe conductoare. Metodele mecanice, utilizate în trecut, au eficacitate scăzută şi contribuie la deteriorarea conductoarelor, aşa că nu pot fi recomandate decît în cazuri cu totul speciale.

Cel mai frecvent se utilizează pentru deschiciurare metodele de încălzire electrică a conductoarelor. Topirea gheţii se realizează prin trecerea prin conductor a unui curent important, astfel încît să se atingă temperatura maxim admisibilă pe conductor (70 — 90°C), cu scopul ca durata topirii să fie cît mai mică. În momentul de faţă, în ţara noastră curenţii de deschiciurare se obţin exclusiv prin scurtcircuitarea trifazică a liniilor electrice aeriene şi alimentarea de la generatoare sau direct din reţeaua de 110 kV, cu complicaţii destul de mari în exploatare.

Pentru simplificarea metodei se pot utiliza în exploatare şi soluţiile prezentate în cele ce urmează.

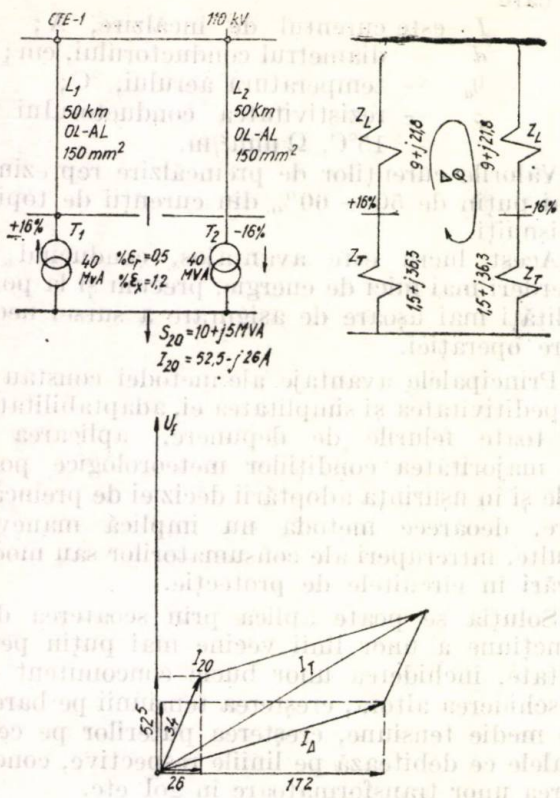


Fig. 1. Forţarea circulaţiei în buclă

$$\%\varepsilon_r = 100\frac{\Delta P_{cu}}{S_N}; \quad \%\varepsilon_X = U_{sc}\%$$

$$\Delta U = \frac{110}{\sqrt{3}}\frac{2.16}{100} = 20{,}3 \text{ kV/f}$$

$$Z_\Sigma = 2(Z_L + Z_T) = 23 + j\,116\Omega$$

$$I_\Delta = \frac{\Delta U}{Z_\Sigma} = 34 - j\,172 \text{ A}$$

$$I_T = I_{20} + I_\Delta$$

Scurtcircuitarea pe un număr incomplet de faze. Scurticircuitarea trifazată este metoda cea mai frecvent utilizată.

Mărirea operativităţii schemelor de deschiciurare se poate obţine uşor, adoptînd deschiciurări pe un număr incomplet de faze sau prin înserierea tuturor fazelor (fig. 2). În cazul aplicării schemei monofazice se poate chiar păstra funcţionalitatea celorlalte două faze ale liniei [2].

Circuitul de deschiciurare se închide simplu printr-o mică modificare a schemei de comandă a întreruptorului liniei. Realizarea înserierilor sau scurtcircuitărilor necesare se face prin scurtcircuitoare pregătite din timp.

Influenţele în circuitele de telecomunicaţii nu sînt periculoase, iar asimetria realizată în acest mod în sistem poate fi suportată pentru perioada de topire.

O mare parte din puterea necesară în circuitele de deschiciurare este reactivă ($X_L \cong$ $\cong$ 0,4 Ω/km). Din acest motiv, reducerea puterii necesare se poate obţine prin scurtcircuitarea liniilor la capătul pus la pămînt cu ajutorul bateriilor de condensatoare (convenabil alese), din condensatoarele de compensare a puterii reactive din staţii, care sînt tot mai frecvente în instalaţiile de 110 kV/MT. Adaptarea la această schemă se poate face cu unele mici artificii în staţie (fig. 3).

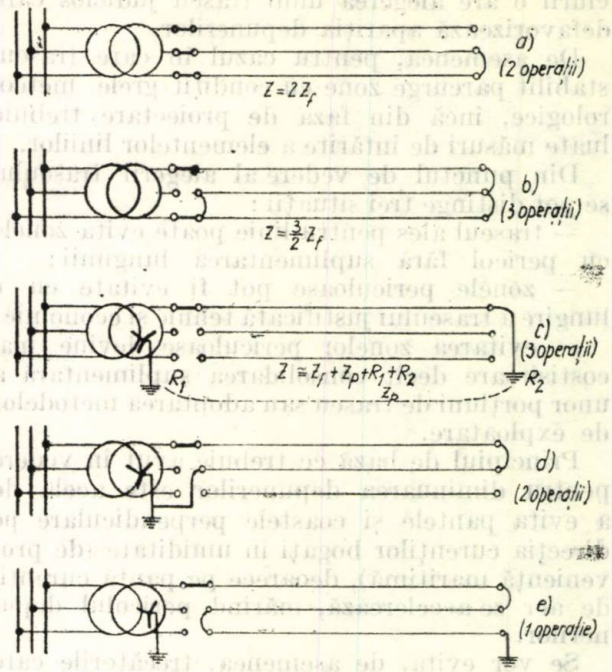


Fig. 2. Topirea pe un număr incomplet de faze.
a — scurtcircuit bifazic; *b* — conectare în paralel a două faze; *c* — scurtcircuit monofazic prin pămînt; *d* — scurtcircuit bifazic la U_f; *e* — înserierea tuturor fazelor (bucla monotrifazică).

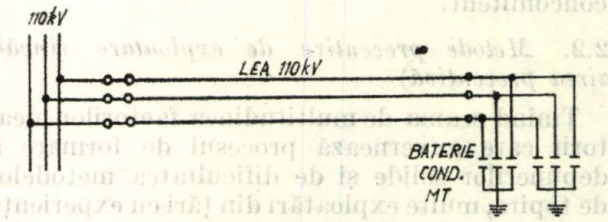


Fig. 3. Utilizarea condensatoarelor de medie tensiune din staţii.

Topirea prin conectare în opoziţie de fază. Metoda constă în alimentarea liniei la capăt la fazele R, S, T iar la celălalt, corespunzător la fazele S, T, R sau T, R, S (fig. 4). În acest mod, pe faza liniei de încălzit se aplică nu tensiunea de fază, ca în cazul alimentării în scurtcircuit, ci tensiunea de linie. Aceasta permite (conform calculelor autorului) majorarea lungimii liniilor ce se deschiciurează cu circa 75% sau, corespunzător, reducerea duratei de topire cu circa 30%.

Curentul de topire I (kA) se calculează cu relaţia (2) :

$$I = \frac{U_L}{Z}, \qquad (2)$$

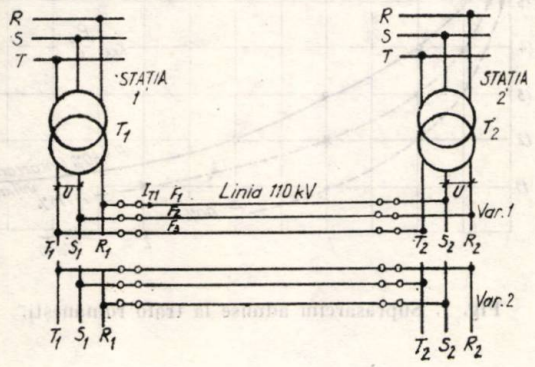


Fig. 4. Topirea prin conectare în opoziţie de fază.

în care

U_L este tensiunea de linie a sursei de topire, kV ;

Z — impedanţa de fază a circuitului de topire (Ω).

Dacă barele staţiei de la care se execută topirea au putere suficientă, astfel încît nu se modifică tensiunea prin conectarea liniei de deschiciurat, atunci Z este impedanţa de fază a liniei. Dacă se reduce sensibil tensiunea de alimentare prin conectarea în opoziţie de fază (menţinîndu-se însă tensiunea pe înaltă tensiune constantă), atunci în Z trebuie considerată şi impedanţa de fază a transformatoarelor IT/MT.

Diagrama vectorială pe baza căreia se pot determina puterile necesare pentru topire şi circulaţia lor sînt prezentate în figura 5.

Schema de conectare în opoziţie de fază se poate aplica rapid, prin instalarea la unul din capetele liniei a unui separator special, cu ajutorul căruia se poate obţine rotaţia unghiului între faze cu 120°.

Topirea în curent continuu. Pentru aplicarea metodei se utilizează instalaţii speciale de tipul redresoarelor uscate. Ele se instalează în staţii de la care se poate aplica deschiciurarea mai multor linii. Se preferă amplasarea lor în vecinătatea barelor de transfer. Curentul de topire este determinat de tensiunea redresorului şi rezistenţa în curent continuu a conductorului. Deoarece întoarcerea prin pămînt a curentului face să crească rezistenţa circuitului de topire (cu minimum 0,05 Ω/km) şi prezintă pericol de coroziune pentru prizele de pămînt utilizate, se preferă schemele indicate în figura 6 *a* şi *b*. Variaţia curentului de topire se obţine prin modificarea raportului de transformare al transformatorului redresorului.

Topirea în curent continuu necesită puteri active incomparabil mai mici decît în metodele cu curent alternativ.

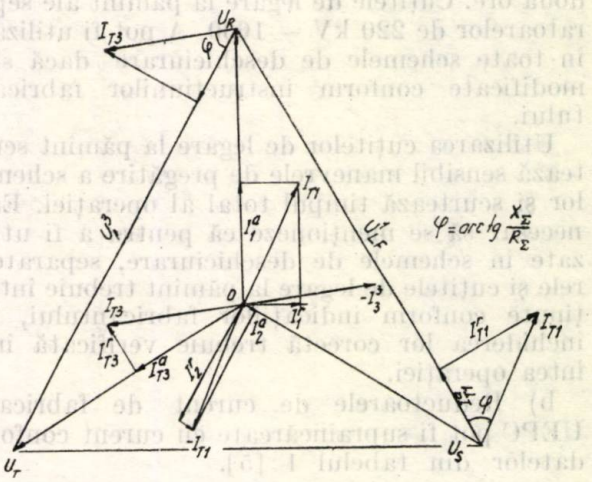


Fig. 5. Diagrama vectorială la conectare în opoziţie de fază (varianta 1).

$$X_\Sigma = X_L^f + X_{T_1}^f + X_{T_2}^f; \quad R_\Sigma = R_L^f + R_{T_1}^f + R_{T_2}^f$$

Puteri date de staţia 1

$P_1 = \sqrt{3}\,UI_T \cos(\varphi - 30°)$

$Q_1 = \sqrt{3}\,UI_T \sin(\varphi - 30°)$

$P_1, Q_1 \geqslant 0$

Puteri date de staţia 2

$P_2 = \sqrt{3}\,UI_T \cos(\varphi + 30°)$

$Q_2 = \sqrt{3}\,UI_T \sin(\varphi + 30°)$

$P_2 \gtrless 0 ; Q_2 \geqslant 0$

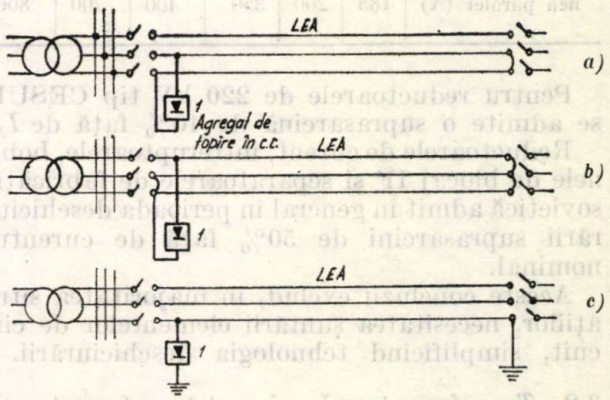


Fig. 6. Scheme de topire în curent continuu.

3. Funcţionarea aparatajului primar în circuitele de deschiciurare

Pentru asigurarea operativităţii operaţiei de deschiciurare, este necesar să se manifeste discernămînt şi iniţiativă în aprecierea efectelor supraîncărcării elementelor induse în circuitele de deschiciurare, ţinînd seama de particularităţile aparatajului, temperatura scăzută a mediului şi durata mică a procesului.

3.1. *Aparatajul de înaltă tensiune*

Din cercetările întreprinse de ICEMENERG [5], [6] au rezultat următoarele concluzii :

a) Cuţitele de legare la pămînt ale separatoarelor tip EPC 110 kV — 1250 — 1600 A

se pot folosi pentru scurtcircuitarea liniilor cu conductoare de OL-Al cu secţiunea pînă la 185 mm² inclusiv. Ele se pot utiliza şi la secţiuni de 240 mm² la durate de deschiciurare sub două ore. Cuţitele de legare la pămînt ale separatoarelor de 220 kV — 1600 A pot fi utilizate în toate schemele de deschiciurare dacă sînt modificate conform instrucţiunilor fabricantului.

Utilizarea cuţitelor de legare la pămînt scurtează sensibil manevrele de pregătire a schemelor şi scurtează timpul total al operaţiei. Este necesar să se menţioneze că pentru a fi utilizate în schemele de deschiciurare, separatoarele şi cuţitele de legare la pămînt trebuie întreţinute conform indicaţiilor fabricantului, iar închiderea lor corectă trebuie verificată înaintea operaţiei.

b) Reductoarele de curent de fabricaţie UEPC pot fi supraîncărcate cu curent conform datelor din tabelul 1 [5].

Tabelul 1

Suprasarcini de durată admise la reduetoarele de curent

Curent nominal CESU — 110 (A)	2 × 50	2 × 75	2 × 100	2 × 150	2 × 200	2 × 300
Valoarea curentului maxim admis la conexiunea paralel (A)	185	200	350	400	700	800

Pentru reductoarele de 220 kV tip CESUK se admite o suprasarcină de 40% faţă de I_N.

Reductoarele de curent, întreruptoarele, bobinele de blocaj IF şi separatoarele de fabricaţie sovietică admit în general în perioada deschiciurării suprasarcini de 50% faţă de curentul nominal.

Aceste concluzii exclud, în majoritatea situaţiilor, necesitatea şuntării elementelor de circuit, simplificînd tehnologia deschiciurării.

3.2. *Transformatoarele şi autotransformatoarele*

Transformatoarele şi autotransformatoarele admit în general suprasarcini importante pentru perioada de deschiciurare. În acest sens este necesar să se ţină seama de indicaţiile constructorului. Agregatele prevăzute cu termocopie pot fi supraîncărcate, urmărindu-se indicaţiile oferite de acest aparat. Pentru restul agregatelor (cu excepţia celor cu circulaţie forţată a uleiului) se pot admite supraîncărcări în conformitate cu datele din figura 7, conform STAS şi [3].

Generatoare

Avînd în vedere că în regimul de topire a gheţii acestea funcţionează la un cos φ redus, puterea lor trebuie limitată din cauza supraîncălzirii rotorului. Puterile disponibile pentru turbo şi hidrogeneratoare se pot determina dintr-o construcţie geometrică simplă, indicată în figura 8.

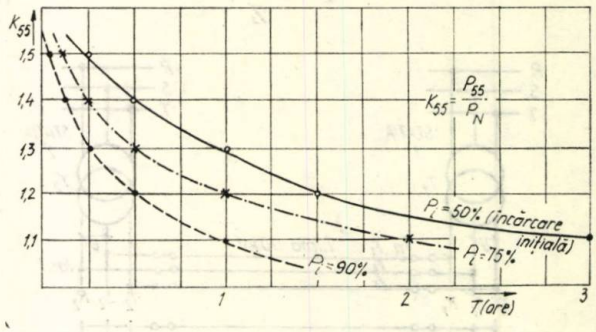


Fig. 7. Suprasarcini admise la trafo româneşti.

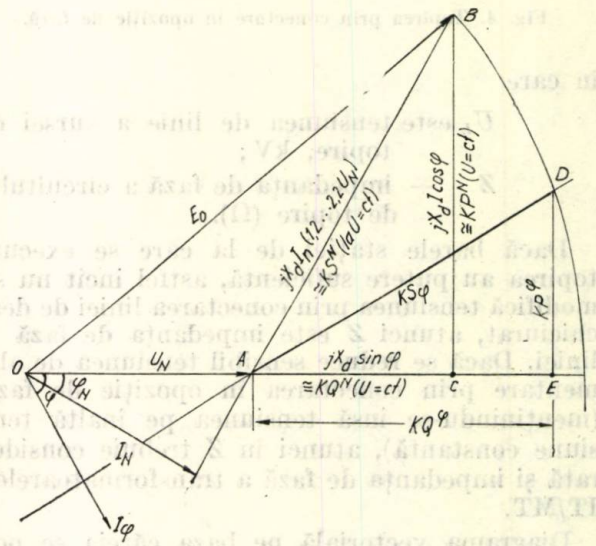


Fig. 8. Încărcarea admisă la generatoarele ce funcţionează pentru deschiciurare.

Stabilirea încărcărilor admise este bine să fie confirmată şi de unele încercări pe viu ale generatorului.

Conductoarele liniilor electrice aeriene

Curentul maxim admis prin conductoarele liniilor electrice aeriene se determină astfel încît în timpul încălzirii temperatura lor să nu depăşească valorile admise.

În procesul de deschiciurare, în ţara noastră, θ_{max} admis $=70°C$, iar în U.R.S.S.[3] se admite $\theta_{max} = 90°C$. În alte prescripţii se admite $\theta_{max} = 80°C$. Experienţa de exploatare din ţara noastră confirmă faptul că depăşirea temperaturii de 70°C se soldează cu deteriorări în elementele de linie (cleme, conductoare).

Din acest motiv, curenţii de topire maximi sînt cei indicaţi în tabelul 2. Relaţia dintre curentul de topire şi timpul necesar se determină pe baza datelor din figura 9 şi relaţia (3) [4],

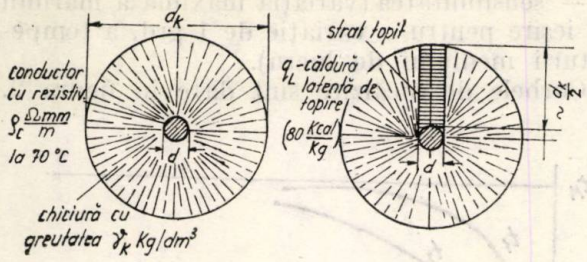


Fig. 9. Determinarea curentului de topire

$$Q_{Joule} = Q_L$$

$$Q_{Joule} = 0{,}24\ \rho_c \frac{L}{S} I^2 \cdot t;\ Q_L = \gamma_k \cdot d \cdot \frac{dk}{2} L \cdot q_L \qquad (2)$$

în care se consideră chiciura uniformă şi atmosfera liniştită la $\theta_{aer} = 0°C$.

$$I = \sqrt{40 \frac{d^3}{\rho_c} \frac{d_k \gamma_k}{t}}, \qquad (3)$$

cu semnificaţiile din figura 9 (t — durata procesului, în ore).

În cazul unor temperaturi mai scăzute şi al curenţilor de aer, relaţiile se complică mult şi devin greu de aplicat. Efectul acestor elemente meteorologice constă în mărirea curentului necesar sau în lungirea timpului de topire.

Pentru o densitate a chiciurii, conform normativului, de 0,75 kg/dm³, în tabelul 2 se indică şi duratele de deschiciurare pentru diferite grosimi ale stratului de chiciură la $I = I_{max}$. Pentru alte valori ale curentului din circuit, I^*, cuprinse între I_{min} şi I_{max}, durata procesului, t^*, se obţine din relaţia:

Tabelul 2

Durata de topire la curentul maxim admisibil

Materialul conductorului	Secţiunea (mm²)	Curent maxim admis I_{max} la 0° C(A)	Durate de deschiciurare (ore) pentru grosimea chiciurii (mm)					Curent minim I_{min} de deschiciurare (A)
			10	15	20	25	30	
Cu	50	338	0,32	0,42	0,52	0,65	0,81	250
	75	424	0,36	0,49	0,59	0,71	0,84	304
	95	515	0,40	0,54	0,65	0,81	0,91	360
OL—Al	95	392	0,41	0,52	0,64	0,76	0,88	296
	120	448	0,70	0,90	1,10	1,28	1,47	325
	150	520	0,725	0,92	1,12	1,31	1,50	385
	185	602	0,77	0,965	1,16	1,36	1,55	438
	240	715	0,84	1,05	1,24	1,44	1,67	520

$$t^* = t \left| \frac{I_{max}}{I^*} \right|^2, \qquad (4)$$

unde t este durata indicată în tabel.

Trebuie reţinut că la durate peste 1,5 - 2 ore deschiciurarea nu mai este eficace, fapt confirmat de experienţa de exploatare.

Concluzii

1. Cu toate neajunsurile ce le mai are, deschiciurarea trebuie luată în considerare ca metodă eficace de protejare a liniilor electrice aeriene. Ea trebuie aplicată însă cu discernămînt în zonele cu frecvente depuneri de chiciură, confirmate de experienţa de exploatare, momentul adoptării deciziei de deschiciurare fiind bazat pe o avertizare obiectivă.

2. Soluţiile prezentate în lucrare contribuie la creşterea eficacităţii metodelor de deschiciurare şi au aplicabilităţi largi în exploatare.

3. În toate cazurile metodele de preîntîmpinare a apariţiei depunerilor trebuie preferate metodelor de topire propriu-zisă, deoarece sînt mai simple, mai operative şi consumă mai puţină energie.

4. Soluţia optimă pentru stabilirea momentului de aplicare a deciziei trebuie să se bazeze pe utilaje de avertizare, montate în locurile cunoscute ca periculoase, din experienţa de exploatare.

5. Oricît de mult s-ar perfecţiona metodele de deschiciurare şi s-ar îmbogăţi utilajele din dotare, nu vor putea fi excluse în totalitate avariile datorită depunerilor de gheaţă pe conductoarele liniilor electrice aeriene, în special cele datorită poleiului care se depune foarte rapid la dimensiuni mari şi care este totdeauna asociat cu intensificări ale vîntului.

Bibliografie

[1] * * * *Instrucţiuni privind deschiciurarea liniilor electrice aeriene.* M.E.E. — D.E.N., 1965.

[2] * * * *Stabilirea eficienţei şi oportunităţii metodelor de deschiciurare a LEA.* ICEMENERG, 1976.

[3] * * * *Rukovodiaşcie ukazaniia po plavke gololeda na LEP.* Moscova, ORGRES, 1969.

[4] Ronkai, F. *Villamos szabadvezetékek zuzmaraterhelése.* Budapesta.

[5] * * * *Studii privind supraîncărcarea reductorilor de curent.* ICEMENERG, 1977.

[6] * * * *Utilizarea CLP în circuitele de deschiciurare.* ICEMENERG, 1977.

(Articol intrat în redacţie la 7 februarie 1978)

Posibilitatea utilizării traductoarelor de variaţie de temperatură la protecţia de incendiu a preîncălzitoarelor rotative de aer

Ing. **M. C. Dianu***)

Deşi sînt cunoscute de mai multă vreme, traductoarele de variaţie de temperatură nu au pătruns prea mult în domeniul energetic, acest lucru reflectîndu-se şi în numărul foarte mic de instalaţii care folosesc acest tip de traductor.

Totuşi, în anumite situaţii, în care variaţia de temperatură are loc sub formă de treaptă sau rampă cu pantă mare (eventual tip impuls), acest tip de traductor este superior ca sensibilitate celui clasic.

În principiu, traductorul este constituit din două (număr par) elemente sensibile la temperatură, identice din punctul de vedere al caracteristicilor electrice, dar de inerţie termică diferită. Conectarea se face în aşa fel încît la ieşire să rezulte o mărime proporţională cu diferenţa temperaturilor elementelor ce compun traductorul (fig. 1).

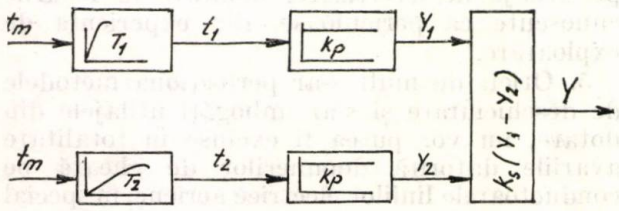


Fig. 1

Aşa cum s-a mai arătat, traductoarele de variaţie de temperatură sînt sensibile numai la variaţia fluxului caloric, independent de nivelul termic la care are loc această variaţie.

Proprietatea enunţată le face utilizabile în cazanele de abur unde parametrii se schimbă în funcţie de sarcină. Variaţia tehnologică a temperaturii pe partea de gaze şi aer nu le influenţează funcţionarea, deoarece se face relativ lent (de ordinul minutelor sau zecilor de minute).

Caracteristicile principale ale traductorului de temperatură sînt exprimate prin :

— valoarea maximă a tensiunii produse ;

— timpul după care se atinge valoarea maximă a tensiunii ;

— sensibilitatea (variaţia maximă a mărimii de ieşire pentru o variaţie de 1 grd. a temperaturii mediului de lucru).

Curbele de încălzire sînt date în figura 2.

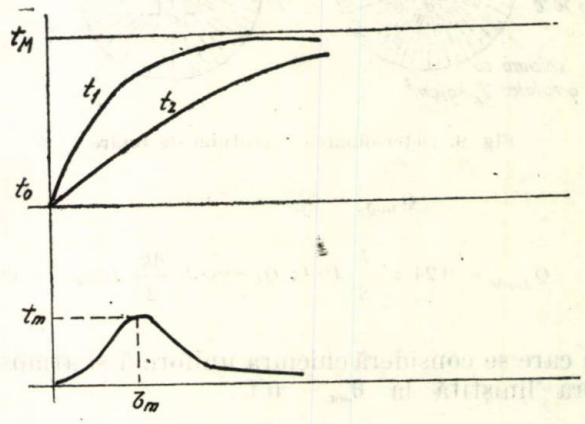


Fig. 2

Pentru a putea estima teoretic cantitativ valorile celor doi parametri iniţiali, se consideră ecuaţiile :

$$y = Ks(y_1 - y_2) \qquad (1)$$

$$y = K_s K_p (t_1 - t_2) = K_s K_p (t_M - t_0)(e^{-\frac{\tau}{T_2}} - e^{-\frac{\tau}{T_1}}) \qquad (2)$$

unde

y_1, y_2 reprezintă mărimi de ieşire la bornele elementului de inerţie mică (*1*) şi mare (*2*).

K_s — coeficientul de proporţionalitate între mărimea de ieşire a traductorului şi diferenţa mărimilor de ieşire ale elementelor sensibile ce-l compun (depinde de schema electrică) ;

K_p — coeficientul de proporţionalitate între mărimea de ieşire y_1 şi temperatura t_1 a unui element sensibil ;

t_1, t_2 — temperatura elementului sensibil de inerţie mică (*1*) şi mare (*2*) la timpul τ ;

t_M — temperatura mediului de lucru în care se imersează traductorul (temperatura saltului sau temperatura traductorului la $\tau = \infty$) ;

*) Mihai C. Dianu este inginer la ICEMENERG.

t_0 — temperatura inițială a elemenetelor sensibile;

T_1, T_2 — constante de timp ale elementelor cu inerție termică mică (*1*) și mare (*2*).

Ecuațiile de mai sus dau valoarea mărimii de ieșire din traductor la timpul τ.

Din ecuația (2) se poate deduce

$$t = t_1 - t_2 = (t_M - t_0)(e^{-\frac{\tau}{T_2}} - e^{-\frac{\tau}{T_1}}) \quad (3)$$

Prin derivare se obțin coordonatele maximului:

$$\frac{dt}{d\tau} = (t - t_0)\left(-\frac{1}{T_2} e^{-\frac{\tau}{T_2}} + \frac{1}{T_1} e^{-\frac{\tau}{T_1}}\right) \quad (4)$$

$$t_m = (t_M - t_0)(K^{\frac{K}{1-K}} - K^{\frac{1}{1-K}}) \quad (5)$$

$$\tau_m = T_1 \frac{\ln K}{K - 1} \qquad K = \frac{T_1}{T_2} \quad (6)$$

Din ecuațiile de funcționare se pot trage concluzii prețioase:

— valoarea maximului este proporțională cu valoarea saltului;

— valoarea maximului depinde direct proporțional și de numărul de elemente sensibile folosit;

— timpul de răspuns nu crește cu numărul de elemente sensibile.

De asemenea, coeficientul K, deși teoretic este dependent de temperatură, s-a observat în urma experimentărilor că la valori nu prea mari ale acesteia (200 grd. de la temperatura ambiantă) valoarea lui K nu influențează sensibil coordonatele maximului.

Posibilitățile de utilizare ale traductorului sînt legate de necesitatea stabilirii unei etalonări, respectiv valoarea tensiunii de ieșire, în funcție de mărimea saltului de temperatură.

Deoarece în practică este dificil de apreciat cantitativ toate mărimile care intră în componența funcției de transfer (constante de timp etc.), este mai operativă o etalonare la fața locului, respectiv cu parametri stabilizați (viteză fluid, nivel termic de bază etc.), avînd ca variabilă numai valoarea saltului de temperatură [2].

Ca o aplicație a proprietăților traductorului de variație de temperatură, acesta poate fi utilizat sub formă de baterie de termocuple, la semnalizarea și pornirea instalației de stingere a incendiului în preîncălzitoarele rotative de aer (fig. 3).

După amorsarea unui incendiu în preîncălzitor, zona respectivă se deplasează odată cu rotorul, producînd în aval, atît pe partea

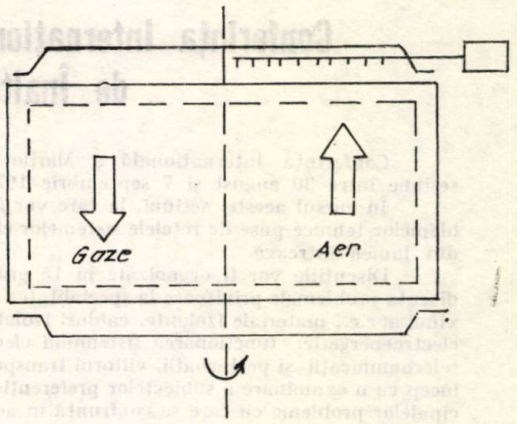


Fig. 3

de gaze cît și de aer, o creștere a fluxului termic staționar. O serie de traductoare de variație de temperatură, amplasate radial deasupra rotorului pe partea de aer ieșire, prind variația locală de flux termic și semnalizează exterior. Deoarece durata de acționare a saltului de temperatură este în jur de două secunde (un sector de cerc de 30 grd) pentru o turație de 2,4 rot/min, este necesară o etalonare la fața locului cu toți parametrii stabilizați, iar simularea de incendiu să se facă electric timp de două secunde, după ce în prealabil s-a măsurat nivelul termic stabilizat al saltului.

Instalația secundară (circuit integrat comparator) se reglează astfel încît să se deschidă pentru un semnal în tensiune corespunzător unui salt de temperatură ales (de exemplu, 50 grd.) [3].

Avantajul folosirii la preîncălzitoarele rotative de aer a traductoarelor de temperatură bazate pe inerția termică rezultă din sensibilitatea lor foarte ridicată și independența față de variațiile de sarcină ale cazanului. Este necesar ca procedeul descris să se aplice într-o primă etapă numai pe semnalizare, urmînd ca după extinderea și perfecționarea mijloacelor de realizare a protecției să se treacă la o comandă automată a instalației de stingere.

Bibliografie

[1] Vezeanu, P. și Pătrașcu St. *Măsurarea temperaturii în tehnică*. Editura tehnică, 1968.

[2] Papadache, I. *Automatica aplicată*. Editura tehnică, 1965.

[3] Dianu, M. C. *Experimentarea sistemului de protecție la aprinderea preîncălzitoarelor de aer rotative la CET Palas*. ICEMENERG, 1975.

(Articol intrat în redacție la 4 noiembrie 1977)

CRONICA

Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice de Înaltă Tensiune (CIGRE)

Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice de Înaltă Tensiune va ține următoarea sa sesiune între 30 august și 7 septembrie 1978 la Paris (Franța) în clădirea Conferințelor UNESCO.

În cursul acestei sesiuni, la care vor fi prezentate 153 de rapoarte, se va continua examinarea problemelor tehnice puse de rețelele sistemelor electroenergetice care sînt studiate în cadrul CIGRE de experți din lumea întreagă.

Discuțiile vor fi organizate în 15 grupe specializate, fiecare dispunînd în general de o zi pentru a discuta problemele privitoare la specialitatea respectivă (generatoare, transformatoare, întreruptoare, conexiuni în c.c., materiale izolante, cabluri izolate, linii electrice aeriene, stații electrice, planificarea sistemului electroenergetic, funcționarea sistemului electroenergetic, supratensiuni și coordonarea izolației, protecție, telecomunicații și perturbații, viitorul transportului de energie electrică). Discuțiile pentru fiecare din grupe încep cu o examinare a subiectelor preferențiale alese și se termină cu o discuție mai generală asupra principalelor probleme cu care se confruntă în acest an inginerii din sistemele electroenergetice.

Vor fi puse în discuție și probleme mai generale privind viitorul sistemelor energetice în timpul unei mese rotunde organizate în ziua de miercuri 30 august — interesînd în special pe cei din conducerea întreprinderilor energetice — și în timpul sesiunii Comitetului de studii nr. 41 (la 4 septembrie); acest comitet este însărcinat cu studierea viitorului sistemelor electroenergetice.

În timpul sesiunii se vor organiza pentru delegații vizite la instalații și laboratoare, în Paris sau în regiunea pariziană.

După sesiune (de la 8 la 10 septembrie) vor fi organizate două vizite de studii, una la Edinburgh (Scoția) și alta în Val de Loire (Franța). Ambele vor include instalații recent construite.

Orice alte informații se pot obține de la *Comitetul Național Român al CIGRE, București, Sector 2, Bd. Lacul Tei nr. 1*, iar înscrierile pentru participare la sesiune se fac de forurile tutelare ale unităților în care **lucrează** solicitanții.

Recenzii

E. POTOLEA. **Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice,** Editura tehnică, 1977, 463 p.

Apariția recentă a cărții prof. dr. ing. Eugen Potolea cu titlul de mai sus constituie un remarcabil eveniment editorial în domeniul literaturii electroenergetice din țara noastră, lucrarea tratînd unitar principalele probleme referitoare la calculul regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice.

Întreaga lucrare este structurată pe trei probleme de bază care se pun la calculul regimurilor unui sistem electroenergetic:

a) determinarea parametrilor sistemului electroenergetic;

b) elaborarea modelelor matematice ale regimurilor;

c) stabilirea algoritmelor de calcul.

Primul capitol al cărții a fost scris în intenția de a prezenta fundamentele fizico-matematice necesare abordării celor trei probleme, întîlnindu-se *Bazele teoriei rețelelor electrice*. Conținînd, la rîndul său, șase subcapitole (relații fundamentale, regimuri particulare, linia electrică conductor — pămînt, circuite electrice, regimurile tranzitorii ale circuitelor electrice și teoria sistemelor de componente), primul capitol al cărții face o incursiune în teoria electromagnetismului, prezentată în spiritul școlii acad. Remus Răduleț, enunțîndu-se mai întîi legile teoriei macroscopice a fenomenelor electromagnetice și trecînd apoi în revistă în mod succint principalele teoreme.

Abordarea acestei problematici în primul capitol al cărții este justificată, pe de o parte, prin faptul că fenomenele care au loc într-un sistem electroenergetic se studiază cu ajutorul celor mai generale relații ale teoriei fenomenologice, iar pe de altă parte prin faptul că studiul rețelelor electrice complexe necesită o sistematizare și o formalizare care se extrag direct din teoria electrodinamicii, ce se studiază în cadrul bazelor electrotehnicii.

Problema parametrilor sistemului electroenergetic este tratată în capitolele 2, 3, 4 și 5.

Astfel, cap. 2 abordează studiul parametrilor liniilor electrice trifazate aeriene și în cablu subteran (parametrii liniei de bază în funcție de care se determină apoi parametrii liniei de lucru și parametrii concentrați din schemele echivalente), prezentîndu-se și un exemplu de calcul al impedanțelor și susceptanțelor de lucru (kilometrice) pentru o linie cu un singur circuit trifazat, luînd în considerare conductorul de protecție, precum și făcînd abstracție de prezența acestui conductor.

Cap. 3 tratează parametrii transformatoarelor și autotransformatoarelor trifazate. În baza studiului transformatoarelor și autotransformatoarelor cu ajutorul teoriei tehnice a cuplajelor magnetice, se stabilesc pe această cale scheme echivalente cu operatori de transformare, care au o aplicabilitate mai largă decît schemele clasice. Schemele cu operatori de transformare devin indispensabile la studiul transformatoarelor și autotransformatoarelor cu reglaj longotransversal, pentru care nu se pot construi scheme echivalente clasice.

Cap. 4 este rezervat studiului parametrilor generatoarelor sincrone trifazate (turbogeneratoare și hidrogeneratoare).

Este de remarcat faptul că și la acest capitol autorul are o contribuție originală remarcabilă în ceea ce privește tratarea teoriei mașinii sincrone. După cum se știe, în mod curent parametrii de regim tranzitoriu ai mașinii sincrone cu înfășurări de amortizare se calculează pe baza datelor experimentale, admițînd totdeauna aproximații care rămîn nejustificate.

Această situație se datorește unei insuficiențe a teoriei mașinii sincrone, care utilizează la un moment dat ecuații cu mărimile raportate la mai multe mărimi de bază.

În lucrare se tratează teoria mașinii sincrone, începînd cu definirea sistemului de componente normate d, q, h și terminînd cu descrierea probelor experimentale pentru determinarea exactă a parametrilor. Se constată că aproximațiile admise în mod curent la calculul parametrilor de regim tranzitoriu sînt inadmisibile deoarece implică erori de ordinul (30 — 50)%.

Cap. 5 se ocupă de receptoarele de energie electrică trifazate, studiindu-se motorul asincron ca un receptor individual, după care se trece la studiul consumatorului complex, cu ajutorul caracteristicilor statice și dinamice.

Problema modelelor matematice pentru regimurile de funcționare a sistemelor electroenergetice, ca și stabilirea algoritmelor de calcul sînt tratate în cap. 6, 7, 8, 9, 10 și 11.

În cap. 6 este prezentată problema modelelor matematice pentru rețele electrice de formă generală. Luînd în considerare faptul că studiul rețelelor electrice complexe, cum sînt rețelele trifazate ale sistemelor electroenergetice, implică formarea și rezolvarea unui mare număr de ecuații, în cadrul capitolului sînt abordate metodele de calcul topologice și matriciale, care răspund în bună măsură cerințelor practicii și oferă în același timp posibilități de analiză și sinteză a rețelelor în vederea reducerii volumului de calcul.

Cap. 7 se ocupă de analiza și sinteza rețelelor electroenergetice. Utilizînd proprietățile topologice ale rețelelor electroenergetice, analiza și sinteza acestor rețele este abordată cu ajutorul relațiilor din metoda tensiunilor nodale.

În cadrul analizei rețelelor electroenergetice este prezentată problema partiției nodurilor de rețea, eliminarea nodurilor pasive, partiționarea laturilor, sistemul Vamy și sistemul Vasy.

În cadrul sintezei rețelelor electroenergetice sînt prezentate problemele: inversarea matricilor partiționate, sinteza ramurilor de rețea, sinteza coardelor, sinteza nodurilor neesențiale.

În finalul capitolului este tratată problema factorizării matricilor (nesingulare, lacunare) și respectiv utilizarea matricilor factorizate.

Cap. 8 este rezervat metodelor de calcul ale regimului permanent simetric din rețelele electroenergetice.

În cadrul capitolului sînt prezentate principalele metode și algoritme care și-au dovedit viabilitatea în decursul anilor, la care se adaugă un algoritm original de calcul și sinteză cu ajutorul matricei Z (inversa matricei admitanței nodale Y).

Cap. 9 tratează stabilitatea statică a sistemelor electroenergetice.

După definirea stabilității statice și dinamice a sistemelor electroenergetice, se trece la prezentarea criteriilor practice ale stabilității statice ($dP/d\delta$, dQ/dU, alte criterii) și apoi la problema micilor deplasări și micilor variații, urmate de simplificările și aproximațiile posibile în studiul stabilității statice.

Capitolul se încheie cu studiul stabilității artificiale (controlul stării statice, ecuațiile micilor oscilații, metoda variabilelor de stare).

Cap. 10 se ocupă de studiul regimurilor tranzitorii ale sistemelor electroenergetice în cadrul căruia sînt abordate problemele calculului acestor regimuri cu aproximațiile simplificatoare admise de necesitățile de proiectare și exploatare a acestor sisteme.

Astfel se studiază regimul tranzitoriu sinusoidal (ecuațiile rețelei statice, ecuațiile t.e.m., ecuațiile electromecanice), calculul variabilelor neinerțiale (metoda curenților la borne, metoda tensiunilor la borne, algoritmul Vamy), calculul variabilelor inerțiale (metode cu autopornire, metoda predictor-corector), regimuri de avarie și după avarie (regimuri simetrice, ecuațiile Vamy pentru rețelele d, i, h, ecuațiile Vasy pentru rețelele d, i, h, simularea nesimetriilor simple, rezolvarea sistemului Vasy).

Ultimul capitol al cărții (cap. 11) este rezervat studiului optimizării regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice. Structurat pe cele două probleme de bază ale optimizării funcționării sistemelor electroenergetice (optimizarea de lungă durată și optimizarea de scurtă durată), cap. 11 al lucrării abordează mai întîi indicii tehnico-economici ai sistemelor electroenergetice, graficele de sarcină, indicii tehnico-economici ai centralelor electrice și apoi indicii tehnico-economici ai rețelelor electrice.

Trecîndu-se apoi la studiul optimizării de scurtă durată (o oră), se prezintă modelul matematic de determinare a regimului de funcționare economică a sistemelor electroenergetice, ca și metodele de calcul al optimizării celor două etape de reglare a variabilelor de control (P_{gi}, Q_{ik} și Q_{gi} N_{ik}), exprimate prin două funcții-obiectiv, una de natură economică și cealaltă de natură tehnică; programarea liniară, metoda lui Lagrange, programarea neliniară.

În continuare sînt prezentate: reglarea puterilor active și a unghiurilor transformatoarelor (optimizarea zilnică, optimizarea orară, calculul pierderilor diferențiale, reglarea unghiurilor) și reglarea puterilor reactive și a rapoartelor transformatoarelor (minimizarea pierderilor, maximizarea tensiunilor, calculul derivatelor parțiale).

Capitolul și, respectiv, cartea se încheie cu studiul optimizării de lungă durată abordată cu ajutorul programării dinamice (model matematic, programare dinamică, strategii aproape optime).

Trecerea foarte pe scurt în revistă a conținutului cărții prof. dr. ing. E. Potolea scoate în evidență faptul că lucrarea, prin tematica sa, este mult mai amplă decît lucrarea „Calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice" a aceluiași autor, apărută în aceeași editură, în 1967.

Fără îndoială că această lucrare este deosebit de utilă pentru inginerii electroenergeticieni care lucrează în exploatarea și proiectarea sistemelor electroenergetice, precum și pentru cei care lucrează în cercetarea energetică.

Avînd în vedere spiritul modern în care este concepută și realizată lucrarea, precum și calitățile sale didactice, ea se adresează în egală măsură și studenților — viitori ingineri electroenergeticieni.

Elaborată pe baza unei bibliografii în cea mai mare parte de ultimă oră, care conține 131 de titluri, la care se adaugă aportul prestigios și inedit al autorului, cartea la care ne referim se va bucura, fără îndoială, de o apreciere unanim favorabilă și o largă căutare în rîndurile cercului de cititori căreia îi este adresată.

Ing. **Romulus Sfichi**

J. GESTER. **Starkstromleitungen und Netze** (RDG)

Cu cartea „Linii de curenți tari și rețele", apărută în prima ediție în editura VEB Verlag Technik, Berlin (R.D.G.), în anul 1977, autorul J. Gester pune la dispoziția școlilor de subingineri din specialitatea instalații electroenergetice un nou manual, care înlocuiește manualul precedent: „Linii de energie electrică, rețele de linii și calculul lor", al autorilor J. Gester și H. Lorenz.

Necesitatea prelucrării sub forma unei noi cărți a vechiului manual a rezultat din dezvoltarea deosebită pe care au cunoscut-o în ultimii ani problemele transportului și distribuției energiei electrice, evoluția tehnico-științifică în domeniul studiului, proiectării și construcției instalațiilor respective, apariția de noi produse, de noi standarde și îndrumare de proiectare.

Manualul „Linii de energie electrică și rețele" este pus de acord cu programa analitică a specialității „Linii electrice și rețele", obligatorie pentru formarea subinginerilor din domeniul instalațiilor electroenergetice. Manualul cuprinde metodele de calcul, inclusiv exemple practice, pentru calculul liniilor și rețelelor electrice în regim normal de funcționare și în regim de defect. În manual au fost abordate în aceeași măsură instalațiile în cablu, ca și liniile aeriene. Pe lîngă partea electrică, sînt tratate de asemenea și aspectele privind stabilitatea termică și rezistența mecanică. Cartea se referă și la o serie de aspecte tehnologice. Pe baza programului de învățămînt, cartea este pusă în concordanță în multe capitole cu manualul: „Instalații de energie electrică" al autorilor Gester și Schmidt.

Manualul „Linii de curenți tari și rețele" este destinat în primul rînd învățămîntului din școlile de subingineri. Utilitatea lui depășește totuși cadrul didactic, întrucît și inginerul din activitatea practică poate găsi în el multe indicații pentru completarea și adîncirea cunoștințelor sale. În întreaga carte sînt luate în considerare standardele valabile în prezent în R.D.G.

Conținutul cărții este organizat pe 8 capitole :

Capitolul 1 : ,,Introducere", arată scopul construirii liniilor de transport și distribuție a energiei electrice, exemple de linii și rețele electrice, precum și standardele care reglementează construirea liniilor.

Capitolul 2 : ,,Elemente componente și funcțiunile liniilor de energie electrică", descrie tipurile constructive și funcționale ale liniilor în cablu și ale liniilor aeriene, principalele lor elemente componente și caracteristicile electrice și mecanice.

Capitolul 3 : ,,Capacitatea de încărcare și protejarea liniilor de energie electrică împotriva suprasarcinilor și a scurtcircuitelor", arată încărcările maxime admisibile în regim de durată și în regim de scurtă durată atît pentru cabluri cît și pentru liniile aeriene. Se descriu de asemenea și soluțiile de protejare împotriva suprasarcinilor neadmisibile și a scurtcircuitelor.

Capitolul 4 : ,,Tipuri de rețele", conține o descriere a rețelelor ramificate și buclate de joasă și medie tensiune și arată considerentele tehnico-economice de alegere a treptelor de tensiune.

Capitolul 5 : ,,Bazele calculului liniilor" prezintă relațiile matematice pentru calculul parametrilor electrici ai liniilor, schemele echivalente de calcul ale liniilor și diagramele vectoriale în diferite ipoteze de funcționare.

Capitolul 6 : ,,Calculul liniilor și rețelelor în regim normal de funcționare", tratează problemele calculului de dimensionare electrică a liniilor, calculul pierderilor, considerentele economice în calculul liniilor. Se tratează de asemenea calculul liniilor de curent continuu, al liniilor de curent alternativ în general și al liniilor trifazate în special.

Se prezintă metodele moderne de calcul al rețelelor interconectate. Un loc special îl ocupă calculul și dimensionarea liniilor în cablu.

Capitolul 7 : ,,Defecte și deranjamente în rețelele electrice", se referă la principalele tipuri de defecte în funcționarea liniilor, metodele și mijloacele pentru calculul tensiunilor și curenților la defecte nesimetrice, calculul defectelor de punere la pămînt și, foarte dezvoltat, calculul scurtcircuitelor.

Capitolul 8 : ,,Calculul și dimensionarea liniilor aeriene din punct de vedere mecanic", tratează problemele de alegere a traseelor, de alegere a materialelor. Se arată modul de determinare a elementelor geometrice ale liniilor. Se prezintă de asemenea relațiile matematice pentru calculul mecanic al conductoarelor. Nu se tratează însă calculul și dimensionarea părții de construcție a liniilor, respectiv a stîlpilor și fundațiilor.

În fiecare capitol care se referă la aspecte de calcul electric sau mecanic sînt date numeroase tabele și exemple numerice de calcul, ceea ce este deosebit de util pentru cunoașterea aplicării în practică a relațiilor de calcul, ca și pentru cunoașterea ordinelor de mărime a rezultatelor.

Bibliografia cărții cuprinde 50 de titluri. Se mai prezintă o listă a termenilor și noțiunilor de specialitate și o listă a notațiilor, a factorilor și termenilor din relațiile de calcul, ambele în ordine alfabetică.

Prin întregul său conținut de problemei prin actualitatea soluțiilor tehnice ș, a metodelor de abordare a problemelor, prin forma clară și îngrijită de prezentare cartea își găsește un loc binemeritat în literatura de specialitate.

Dr. ing. **Z. I. Neag**

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Str. Doamnei 14 — 16, Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 187/125/1975

I.P.I. c. 261

41 401

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 662.76.001.2

Болма, И., Керчеа, Г., Фрэсиняну, Г. и *Шуман, К.*: **Полиномы для расчета физических и теплодинамических характеристик дымовых газов**

На основе некоторых статистических существующих данных предлагаются отношения расчета для характеристик воздуха и дымовых газов.

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 99 – 100

ДК 621.181

Поп, М. Г. М., Урсу Ек. и *Манеа, Д.*: **Вероятностная оценка явлений пульсаций температуры с небольшими амплитудами и большой частотой на долговечность коллекторов паровых котлов**

Представляется оригинальный метод определения долговечности коллекторов паровых котлов, подвергающихся пульсациям температуры с небольшими амплитудами и большой частотой. Испытание основывается на вероятностном методе Палмгрен-Минер.

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 101 – 104

ДК 621.311.87

Михэеску, Л.: **Пылеугольная вихревая горелка; влияние конструктивных и рабочих параметров на возможности оборудования топок небольших размеров**

В статье производится обзор характеристик пылеугольных вихревых горелок и представляются опыты, проведенные на топке с горелкой в 200 кг/час. Показывается возможность и преимущества использования пылеугольных вихревых горелок на паровых котлах с небольшим и средним расходом.

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 105 – 111

ДК 622.186

Турку Лиана: **Надежность в работе металла паровых проводников после истечения теоретической длительности использования**

Статья представляет ряд данных, вытекающих из работы, выполненной в рамках ИЧЕМЭНЕРГ относительно поведения в эксплуатации некоторых проводников живого (действующего) пара из стали 12H1MF после длительности работы приблизительно 100.000 часов или более, при повышенном давлении и температуре.

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 111 – 116

Хаиос, Л.: **Аспекты островного режима промышленных платформ**

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 116 – 123

ДК 621.315.1.004.1

Гойя, Л. М.: **Соображения касающиеся плавки гололеда воздушных электрических линий**

Рассматриваются методы плавки гололеда воздушных электрических линий высокого напряжения и предлагаются решения, которые содействуют росту эффективности методов плавки гололеда, с широким применением в эксплуатации.

Energetica 26 (1978), № 3, стр. 123 – 129

ДК 621.314.1.004.1

Диану, М. К.: **Возможность использования датчиков изменения температуры при случаях противопожарной защиты вращающихся воздушных подогревателей**

Energetrca 26 (1978), № 3, стр. 130 – 131

ХРОНИКА
РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 662.76.001.2

Bolma, I., Chercea, G., Fräsineanu, G. und *Schuman, C.*: **Polynome zur Berechnung physikalischer und thermodynamischer Eigenschaften der Verbrennungsgase**

Anhand bestehender statistischer Angaben werden Berechnungsbeziehungen zur Bestimmung der Eigenschaften der Luft und der Verbrennungsgase vorgeschlagen.

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 99 – 100

DK 621.181

Pop, M. G. M, Ursu Ec. und *Manea, D.*: **Wahrscheinlichkeitseinschätzung der Auswirkung von Temperaturpulsationen kleiner Amplitude und grosse Frequenz auf die Lebensdauer der Dampfkesselsammler**

Es wird ein originelles Verfahren zur Bestimmung der Lebensdauer der Dampfkesselsammler vorgeführt, die Temperaturpulsationen kleiner Amplitude und grosser Frequenz ausgesetzt sind. Die Untersuchung beruht auf das Palmgren-Miner-Wahrscheinlichkeitsverfahren, welches an diese Art von Beanspruchungen angepasst wurde.

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 101 – 104

DK 621.311.87

Mihăescu, L.: **Kohlenstaub-Wirbelbrenner; Einfluss der bautechnischen und der Betriebsparameter auf die Möglichkeit ihres Einsatzes in Brennkammern kleiner Abmessung**

Im Artikel werden die Kennwerte der Kohlenstaub-Wirbelbrenner untersucht und die Versuche mit einem 200kg/h-Brenner beschrieben. Ferner werden die Möglichkeiten und die Vorteile des Einsatzes der Kohlenstaub-Wirbelbrenner in den Dampfkesselangen kleiner und mittlerer Dampfleistung gezeigt.

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 105 – 111

DK 621.186

Turcu Liana: **Betriebssicherheit des Rohrleitungsmettals nach Ablauf der theoretischen Einsatzsdauer**

Im Artikel werden Angaben vorgeführt, die im Forschungsinstitut ICEMENERG bei der Durchführung von Arbeiten im Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der aus 12H1MF-Stahl gefertigten Heissdampf-Rohrleitung nach einer Betriebsdauer von wenigstens 100 000 Stunden unter Einwirkung hoher Druck- und Temperaturwerte gewonnen wurden.

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 111 – 116

Hajos, L.: **Aspekte bei der Inselversorgung von Industriekomplexen**

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 116 – 123

DK 621.315.1.004.1

Goia, L.: **Betrachtungen zur Enteisung elektrischer Freileitungen**

Es werden Verfahren zur Enteisung von Hochspannungs-Freileitungen besprochen und Lösungen zur Erhöhung der Wirksamkeit der Enteisungsverfahren vorgeschlagen, die ein breites Anwendungsfeld im praktischen Betrieb finden.

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 123 – 129

DK 621.314.1.004.1

Dianu, M.: **Möglichkeit der Anwendung von Temperaturänderungsgeber zum Brandschutz rotierender Luftvorwärmer**

Energetica 26 (1978), H. 3, S. 130 – 131

CHRONIK
BUCHBESPRECHUNG

SOMMAIRE

CD 662.76.001.2

Bolma, I., Chercea, G., Frăsineanu, G. et *Schuman, C.* : **Polynômes pour le calcul des propriétés physiques et thermodynamiques des gaz de combustion**

Les auteurs proposent, à base des données statistiques, des relations de calcul pour les propriétés de l'air et des gaz de combustion.

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 99 – 100

CD 621.181

Pop, M. G. M., Ursu Ecaterina et *Manea, D.* : **L'évaluation probabilistique de l'effet des pulsations de la température à petites amplitudes et grande fréquence sur la durée de vie des collecteurs des chaudières à vapeur**

Les auteurs présentent une méthode originale pour déterminer la durée de vie des collecteurs des chaudières à vapeur soumis aux pulsations de la température à petites amplitudes et grande fréquence. L'étude est basée sur la méthode probabilistique Palmgren-Miner, adaptée à ce type de sollicitations.

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 101 – 104

CD 621.311.87

Mihăescu, L. : **Brûleurs tourbillonaires pour la poussière de charbon ; l'influence des paramètres constructifs et fonctionnels sur les possibilités d'équiper les foyers à dimension réduite**

L'article présente les caractéristiques des brûleurs tourbillonaires pour la poussière de charbon, ainsi que les expériences effectuées avec un foyer équipé d'un brûleur de 200 kg/h. On indique aussi les possibilités et les avantages de l'utilisation des brûleurs tourbillonaires à poussière de charbon pour les chaudières à debit réduit et moyen.

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 105 – 111

CD 621.186

Turcu Liana : **La sûreté de fonctionnement des conduites à vapeur en acier après l'expiration de la durée théorique d'utilisation**

On présente les résultats des recherches effectuées par ICEMENERG concernant le comportement des conduites à vapeur fraiche en acier 12H1MF après une durée de service approchée de 100 000 h ou plus, à pression et température élevées.

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 111 – 116

Hajos, L. : **Quelques aspects concernant l'insularisation des plate-formes industrielles**

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 116 – 123

CD 621.315.1.004.1.

Goia, L. : **Considérations sur le dégivrage des lignes électriques aériennes**

On discute les méthodes de dégivrage des lignes électriques aériennes haute tension et on propose les solutions qui peuvent contribuer à la croissance de l'efficacité de ces méthodes.

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 123 – 129

CD 621.314.1.004.1

Dianu, M. : **La possibilité d'utilisation des traducteurs de variation de la température pour la protection contre l'incendie des réchauffeurs d'air rotatifs**

Energetica 26 (1978), no. 3, p. 130 – 131

CHRONIQUE
COMPTE-RENDUS

CONTENTS

DC 662.76.001.2

Bolma, I., Chercea, G., Frăsineanu, G. and *Schuman, C.* : **Polynomials for calculation of physical and thermodynamical properties of roast gases**

Based on statistical data available some calculation relations are proposed for properties of air and roast gases.

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 99 – 100

DC 621.181

Pop, M. G. M., Ursu Ecaterina and *Manea, D.* : **Probabilistic estimation of the effect narrow amplitude and high temperature pulsations on the running life of steam boiler collectors**

An original method is presented for estimation of running life of steam boiler collectors, subjected to narrow amplitude and high frequency temperature pulsations. The study is based on Palmgren-Miner method probabilistic, adapted to such kind of stresses.

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 101 – 104

DC 621.311.87

Mihăescu, L. : **Coal dust vortex burners ; influence of constructive and running parameters on the equipping possibilities of small-size combustors**

The paper reviews the characteristics of coal dust vortex burners and shows the tests performed with a 200 kg/h burner combustor. The possibility and advantages are shown of using coal dust vortex burners to small and medium size steam boilers.

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 105 – 111

DC 621.186

Turcu Liana : **Reliability of steam duct metal beyond the theoretical operating period**

The paper shows some data resulted from tests performed in ICEMENERG regarding running behaviour of some process steam ducts of 12H1MF type steel after an operating period of about 100 000 hours or more, under high pressure and temperature conditions.

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 111 – 116

Hajos, L. : **Some aspects regarding insularization of industrial zones (platforms)**

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 116 – 123

DC 621.315.1.004.1

Goia, L. : **Some considerations regarding white frost removal from overhead electric lines**

Methods are discussed for white frost removal from high voltage overhead electric lines and solutions are proposed for rising the efficacy of white frost removal methods, with large appliance possibilities.

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 123 – 129

DC 621.314.1.004.1

Dianu, M. : **Possibilities of employing temperature variation transducers to the protection against fireing of rotating air preheaters**

Energetica 26 (1978), nr. 3, p. 130 – 131

CHRONICLE
REVIEWS

1978 OKT 2

E 2039

MW

BIBLIOTECA CENTRALĂ

4

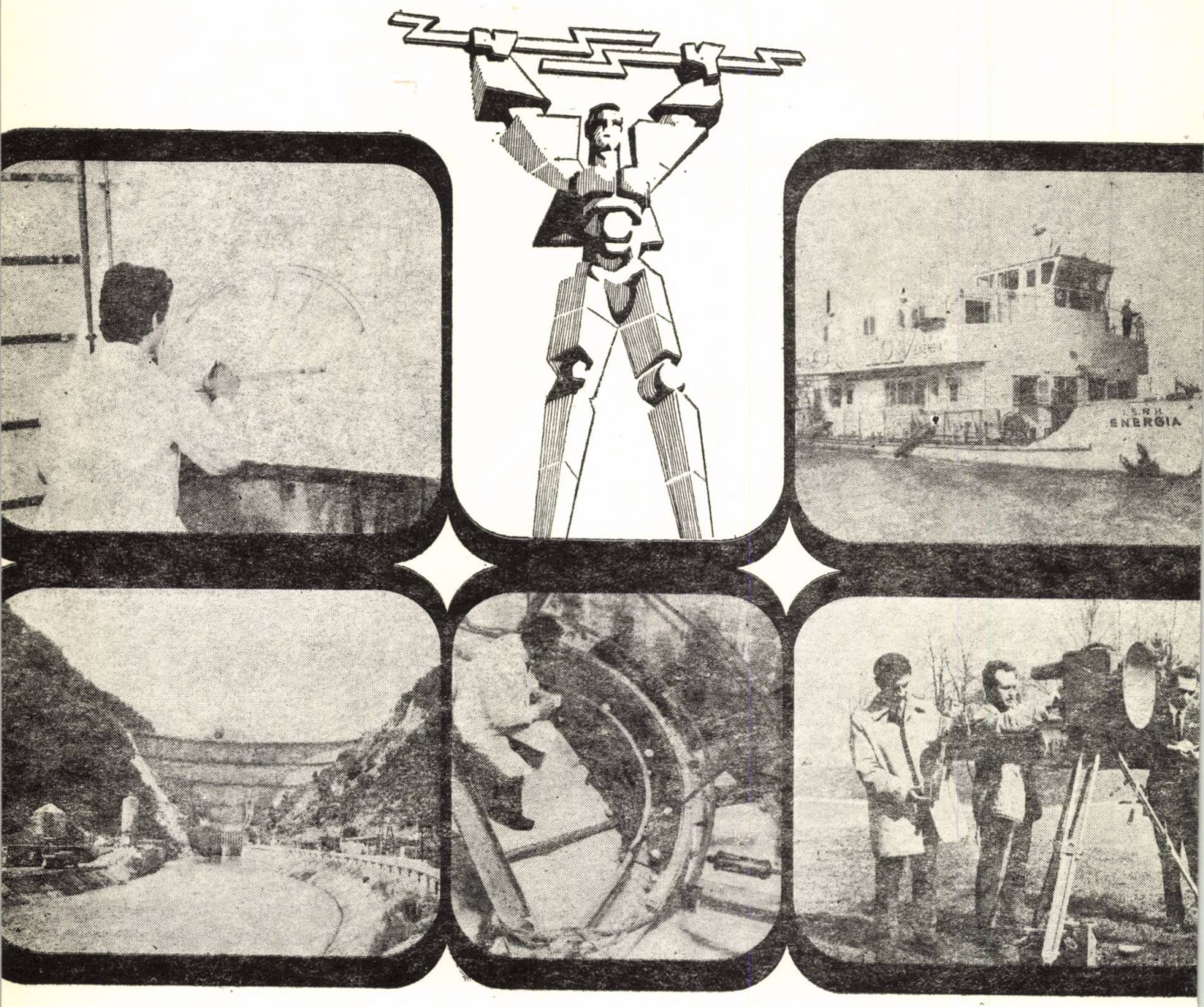
VOLUMUL XXVI
BUCUREȘTI
APRILIE 1978

energetica

0 6 12 18 2

ISPH

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



I. S. P. H. Designing Institute with complex profile offers :

- **Consulting-engineering for hydroelectrical power developments**
- Studies and designs
  - dams
  - tunnels, canals, conduits
  - hydroelectric power stations
  - pumping stations
  - locks
- Topographical and geodetical survey
- Investigations and field studies
  - hydrology, hydraulics
  - geology, geotechnics, hydrogeology
  - soil and rock mechanics
  - geophysics
  - drillings
  - mining works
- Laboratory tests
  - structural and photoelastic mod
  - hydraulic models
  - concrete technology
  - materials for earth and rock-fill dams

I. S. P. H.

BUCUREȘTI , Bd. Republicii 29 , Tel. 14 72 7o , Telex 011-443

1978 OKT 3
ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRES DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE
ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 4 Aprilie

Cuprinsul

		Pag.
N. Pănoiu, I. Carabogdan, C. Cazacu şi *D. Bicleşeanu*	**Tendinţe în dezvoltarea construcţiei de cazane în R.S.R., privite sub aspectul structurii şi rezervelor de combustibil şi al utilizării lor eficiente**	139–145
I. Istrate	**Posibilităţi de apreciere a solicitărilor dinamice la paletele de turbină care funcţionează în apropierea rezonanţei**	145–151
Elena Chirica şi *M. Chirica*	**Îndepărtarea impurităţilor feromagnetice din circuitul apă-abur al centralelor termoelectrice, prin filtrare electromagnetică**	151–156
M. G. M. Pop, D. Manea şi *Ecaterina Ursu*	**Studiu comparativ al influenţei regimurilor tranzitorii cvasistaţionare şi de şoc asupra duratei de viaţă a generatoarelor de abur din CNE**	157–162
I. Gheorghiu	**Contribuţii privind dinamica mişcării conductoarelor LEA cauzată de vînt, cu direcţie predominantă în lungul liniilor**	162–166
O. Stavrescu şi *C. Dinulescu*	**Economie de energie prin repartiţia judicioasă a fluxului luminos**	167–172
PUNCTE DE VEDERE		
Fl. Alexe şi *V. Harth*	**Studiu asupra corelaţiei dintre creşterea industrială şi consumul de energie electrică în industrie**	173–176
DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI		
C. Morţun	**Electrificarea judeţului Mureş**	177–179
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului științific
al Institutului central de cercetări energetice

'endințe în dezvoltarea construcției de azane în R.S.R., privite sub aspectul tructurii și rezervelor de combustibil i al utilizării lor eficiente

N. Pănoiu,
I. Carabogdan,
C. Cazacu,
D. Bîcleșeanu*)

Caracterul exploziv al cererii de energie manifestat în multe țări ale lumii a determinat orientarea construcțiilor de cazane spre utilizarea pe scară largă și a combustibililor olizi inferiori, cu precădere a ligniților, ca i a celorlalte sorturi de cărbune brun, a căror xploatare în cariere asigură prețuri competitive pentru energia electrică produsă.

Poziția combustibililor solizi inferiori în structura balanței de energie primară și ponderea mportantă a țărilor în Europa în producția nondială de cărbune brun (93%) au condus a concentrarea preocupărilor pentru utilizarea pe scară largă a acestor combustibili, n special în aceste țări. În același timp, puterea unitară a grupurilor a crescut continuu; stfel, după realizarea în 1962 a palierului de 00 MW cu cazane de 1000 t/h și în 1970—1972 celui de 600 MW, în prezent s-a trecut la reapta de 800 MW sau chiar mai mult. Analizîndu-se această tendință în ultimele decenii și corelînd creșterea anuală a debitului cazanelor cu necesarul de energie electrică, rezultă că, la o dublare a puterii disponibile necesare n timpul unei decade, puterea blocurilor se lublează. Menținerea acestui ritm ar conduce a realizarea în 1984 a treptei de 1200 MW, n 1994 urmînd a se lua în considerare palierul le 2400 MW, dacă posibilitățile tehnice vor putea menține același ritm de dezvoltare. Această creștere importantă a puterii unitare blocurilor se relevă prin faptul că la începutul fiecărei decade analizate, cea mai mare unitate ce se dă în exploatare reprezintă circa 1% din partea disponibilă în centrale.

Tendința de creștere a puterilor unitare este ustificată, în special, de scăderea costurilor pecifice pentru instalații și personal. În figura se prezintă această scădere relativă a costurilor cu creșterea puterii blocurilor pentru cărbuni bruni și huile [1]. Scăderea este importantă la trecerea de la 300 MW la 600 MW, și anume de circa 15%, existînd o limită la care devine relativ redusă. Creșterea puterii unitare a blocurilor impune o nouă condiție, și anume menținerea gradului de fiabilitate.

Dacă la trecerea de la blocurile de 300 MW la 600 MW fiabilitatea s-a menținut sau chiar s-a îmbunătățit, la blocurile mai mari — și în special la cele de peste 800 MW—fiabilitatea se înrăutățește.

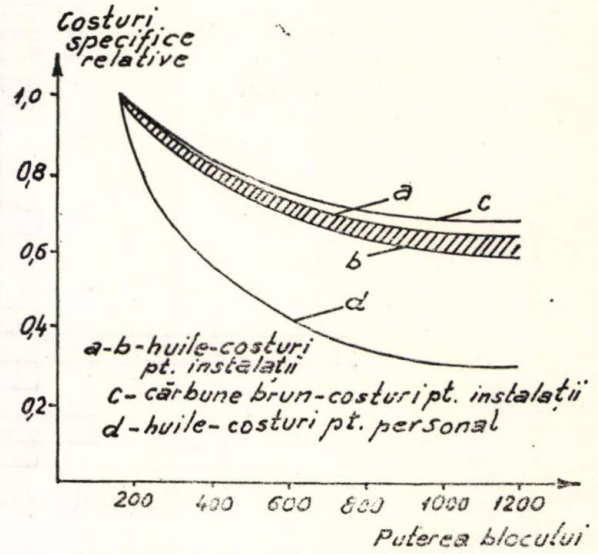


Fig. 1. Variația costurilor specifice cu puterea unitară a blocurilor energetice.

În figura 2 se prezintă situația puterilor unitare maxime existente în 1975 în diferite țări pentru huile și cărbune brun [2].

În afara acestor construcții, sînt în diferite faze de realizare puteri mai mari, și anume: în S.U.A. blocuri de 1500—2000 MW pentru huilă, în U.R.S.S. blocuri de 1600 MW pentru cărbuni bruni superiori.

În toate aceste instalații, realizate în ultimele decenii, procedeul de ardere mai larg utilizat este arderea în stare pulverizată.

Pentru cazanele de debit mare, se utilizează în general forme de focar și arzătoare asemănătoare celor folosite în prezent la cazanele de 1000 t/h sau mai mici. În figura 3 se prezintă o serie de recomandări pentru grupuri mai mari de 600 MW [2].

Pentru cărbunii cu conținut de umiditate foarte ridicată se utilizează schema A_1, care, datorită debitelor mari de gaze de ardere solicită dimensiuni mai mari ca la blocurile cu puteri similare pe combustibil huilă. Construcția de focar cu cameră dublă, C_2, a fost concepută în S.U.A. pentru unități mari și pentru huile, deși pentru blocurile de 1300 MW, s-a adoptat soluția B_1.

Prin mărirea camerei de ardere, volumul crește cu puterea a 3-a, iar suprafața numai cu pătratul. Menținînd aceeași valoare pentru încărcarea termică specifică a suprafețelor, se mărește inevitabil durata de staționare și lungimea drumului de ardere pentru particulele de cărbune, reprezentînd un avantaj deosebit din acest punct de vedere.

*) Conf. ing. N. Pănoiu și conf. ing. I. Carabogdan sînt cadre didactice la Institutul politehnic București; ing. C. Cazacu și ing. D. Bîcleșeanu sînt cercetători științifici la ICPET.

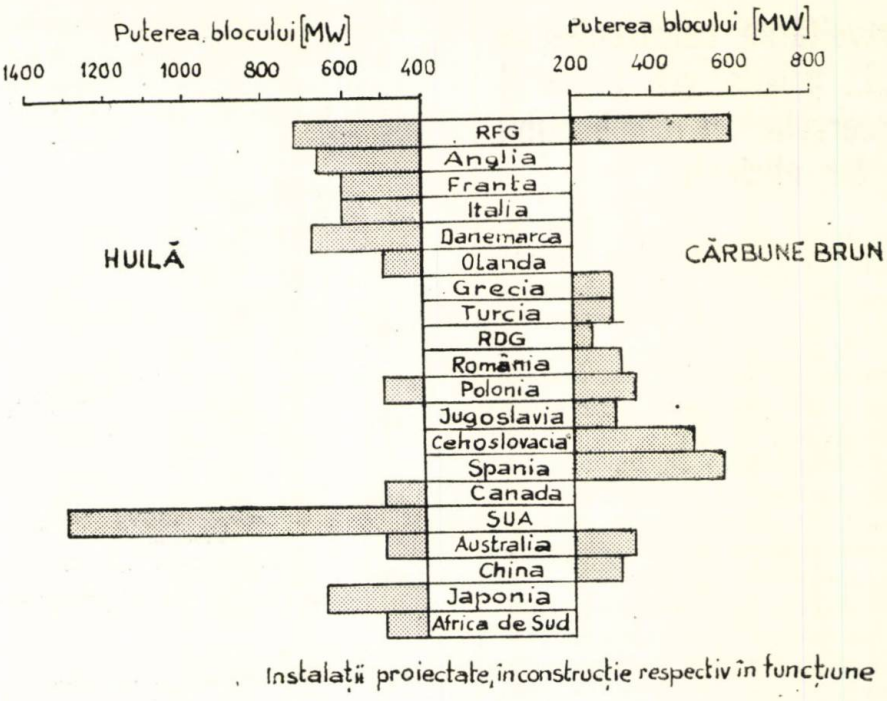
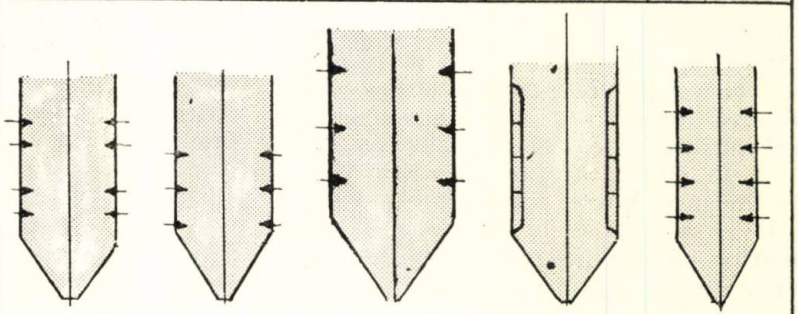
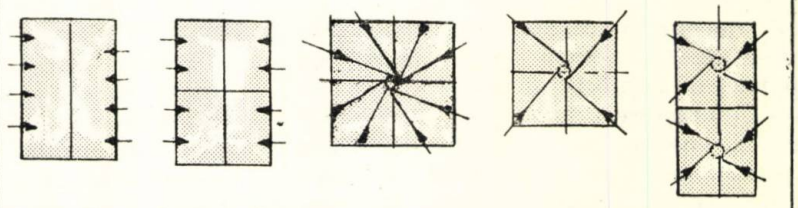


Fig. 2. Puterile maxime ale blocurilor energetice realizate pentru arderea combustibililor solizi.

Forma constructivă	B1	B2	A1	C1	C2
Mărimea construcției la ora actuală pînă la MW ca.	1300	700	500	700	900
Camera de ardere Secțiune longitudinală					
Camera de ardere secțiune transversală					
Insuflare	Paralel		Tangențial		
Amplasarea arzătoarelor	2 Părți		4 Părți	4 Colțuri	2 Părți
Felul de constr. a arzătoarelor	Arzător turbionar		Arzător cu fante		

Forme constructive pt. camere de ardere pt. grupuri energetice ≧ 500 MW

Fig. 3. Forme constructive pentru focarele cazanelor cu debit de abur de peste 500 t/h.

Sistemele de ardere folosite la cazanele mari pentru cărbunii bruni sînt cu insuflare directă sau indirectă. Sistemele cu insuflare directă, cazul cel mai frecvent întîlnit, nu au separator de „vapori de apă"*), utilizat numai la cărbuni cu umidităţi mai mari de 70%. La unele construcţii, „vaporii de apă" sînt evacuaţi în atmosferă, praful de cărbune separat fiind condus sub arzătoarele principale la baza focarului pentru îmbunătăţirea stabilităţii arderii. Prin aceasta, volumul de gaze ce trece prin cazan se reduce, şi deci cazanul poate fi tratat ca o construcţie normală.

Arzătoarele utilizate în continuare sînt în general de două tipuri, şi anume: arzător turbionar (energie de amestec iniţială mare) pentru huile şi pentru amplasarea pe două laturi şi de tip cu fantă (cu jeturi — energie de amestec iniţială mică), utilizate la focarele cu ardere tangenţială, sistem larg folosit la cărbunii bruni. Arzătorul cu trei etaje, pentru grupurile mari, are o înălţime de 22 m. Încărcarea termică specifică a zonei arzătoarelor poate atinge 1 Gcal/m².h, iar puterea termică a unui arzător cu două fante de praf (cu aer superior, intermediar şi inferior) poate ajunge la circa 100 Gcal/h.

În ultima perioadă s-au construit arzătoare cu preamestec, difuzionale, în vederea realizării unui amestec mai bun între praful de cărbune şi aer.

Construcţia focarului este necesar să fie examinată din punct de vedere aerodinamic şi termic. Parametrii aerodinamici nu introduc limitări ale dimensiunilor focarului. În ceea ce priveşte parametrii termici, în literatura de specialitate sînt prezentate diagrame pentru valorile încărcărilor termice specifice ale secţiunii şi volumului focarului şi ale zonelor arzătoarelor.

Temperatura medie a gazelor de ardere la ieşirea din focar, pentru cărbunii bruni, se menţine în domeniul 900 — 1100°C, deci cu circa 200°C mai redusă decît la huile, determinînd, în principal, înălţimea focarului şi a cazanului.

În figura 4 se prezintă, pentru diferite grupuri, înălţimea cazanului şi a focarului, funcţie de această temperatură.

În practică se dau următoarele valori pentru răcirea specifică a gazelor de ardere în focar (°C/m) [1], [3]:

	Huile				*Cărbune brun*			
Puterea grupului, MW	300	600	1200	2400	300	600	1200	2400
Răcire specifică, °C/m	9	6,5	4,5	3,3	5,7	3,6	2,9	1,9

O altă limitare a creşterii puterii grupului este variaţia temperaturii gazelor de ardere în secţiunea de ieşire a focarului. La grupurile de puteri mari, diferenţele calculate între valorile maxime şi temperatura medie devin importante, putîndu-se atinge în axul secţiunii temperaturi apropiate de punctul de topire al cenuşii. Pentru anumite sorturi de cărbune brun, acest lucru limitează puterea blocului la chiar sub 1200 MW.

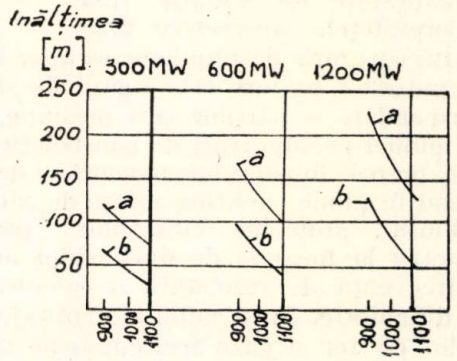


Fig. 4. Variaţia înălţimii cazanului funcţie de puterea blocului energetic şi de temperatura gazelor de ardere la sfîrşitul focarului. Construcţie turn.
a — înălţimea cazanului; *b* — înălţimea focarului.

Construcţia morilor poate reprezenta, de asemenea, o limitare a puterii blocurilor energetice. Pentru cărbunii bruni cu umiditate ridicată, se utilizează mori-ventilator cu sau fără ciocane pe aspiraţie. Pentru unele grupuri de 600 MW, s-au amplasat opt mori de 145 t/h (DGS — 130). Din anul 1975 sînt în funcţiune în Grecia mori de 180 t/h, avînd pe aspiraţie un număr sporit de ciocane şi un rotor de peste 4 m. În general, odată cu creşterea debitului morii, scade fineţea de măcinare, ceea ce constituie alt factor limitativ. Se pot lua în considerare, de asemenea, dificultăţile care apar în construcţia motorului de antrenare la puteri mari, precum şi limitarea diametrului rotorului la circa 4 m, datorită grosimii maxime de tablă, limitată, furnizată în prezent [2].

În figura 5 se prezintă, transpuse în scheme dimensionale, grupurile de 300 MW şi 600 MW

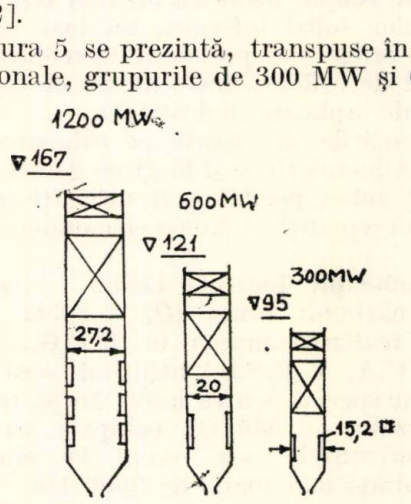


Fig. 5. Variaţia dimensiunilor focarelor şi a cazanelor de tip turn funcţie de puterea unitară a blocului energetic.

*) Denumirea germană este „Brüden"

și rezultatele calculelor pentru grupurile de 1200 MW.

Calculul suprafețelor de încălzire pentru cărbune brun conduce la următoarele rapoarte față de huilă;

— suprafața de radiație 1,25

— suprafețele convective 2,25

O altă categorie de probleme ce apar la creșterea puterilor unitare este legată de sistemul de suspendare a părților sub presiune, susținerea pîlniei pe suporturi de construcție specială, preluarea impactului blocurilor de zgură care cad în pîlnie (se ating viteze de cădere de 125 km/h), problema vibrațiilor pereților-membrană la focarele de dimensiuni mari, la care frecvența de rezonanță se calculează cu mare dificultate, construcția și montajul conductelor de aer și gaze recirculate pe înălțimi foarte mari ș.a.

Enumerarea problemelor tehnice ce pot apărea la mărirea puterii unitare a grupurilor energetice, pentru cărbuni bruni, limitează puterea maximă a grupului la 1000—1200 MW, fiind necesară însă rezolvarea unor aspecte constructive dificile, ca, de exemplu:

— nedepășirea înălțimii de 180 m în cazul construcției turn, nefiind posibilă construcția cu focar dublu, din cauza simetriei instalației de ardere;

— construirea de ventilatoare axiale cu diametre ale rotorului de peste 6 m;

— realizarea de mori cu debite de 200 t/h sau mai mari și rezolvarea problemei amplasării a zece mori în jurul cazanului. Pentru anumite sorturi de cărbune brun, soluția optimă pentru puterea unitară maximă se situează la valori de 900—1000 MW, ceea ce ar reduce înălțimea cazanului și ar necesita numai opt mori posibil a fi amplasate fără dificultăți importante.

În ultima perioadă, în afara preocupărilor pentru diversificarea construcțiilor clasice de cazane în scopul utilizării cît mai largi a combustibililor solizi inferiori, au fost inițiate o serie de programe speciale de cercetare pentru sistemul de ardere, unele dintre ele ajunse în stadiul de aplicare industrială.

Preocupările sînt axate pe ridicarea puterii unitare a instalațiilor și lărgirea gamei de combustibili solizi posibil a fi utilizați în aceste focare în condiții tehnico-economice avantajoase.

În domeniul focarelor-ciclon, instalațiile pentru cărbunii bruni ($Q_i^l = 2\,600$ kcal/kg) au fost realizate numai în R.F.G., celelalte țări (S.U.A, U.R.S.S.) utilizînd această construcție în special pentru huile. După realizarea unor cazane de 900 t/h echipate cu focare-ciclon orizontale, s-a trecut la proiectarea unor unități mai mari, de 2000 t/h.

Deși rezultatele obținute sînt bune ($q_4 < 1\%$, dimensiuni mai reduse ș.a.), focarele-ciclon pentru combustibili inferiori cunosc o dezvoltare limitată datorită numărului redus de sorturi de cărbuni bruni posibil a fi utilizați în astfel de instalații (cu cenuși ușor fuzibile conținut redus de cenușă ș.a.).

O altă categorie de instalații cu ardere intensificată sînt focarele turbionare — dezvoltate în special în S.U.A. și U.R.S.S., construcțiile preconizate a se realiza în următorii ani fiind pentru cărbuni de calitate superioară, iar pentru o etapă viitoare și pentru combustibili inferiori. În prezent sînt în construcție în U.R.S.S. cazane de 500 t/h pentru combustibili superiori.

Arderea în strat fluidizat, cu suprafețe de încălzire imersate în strat, a cunoscut o dezvoltare deosebită, un mare număr de firme abordînd această problemă. Primele realizări de astfel de instalații de puteri mici și medii au apărut relativ recent și se preconizează ca după 1980 să se treacă la aplicări industriale. Studiile efectuate pînă în prezent au arătat însă o limitare tehnico-economică a puterii instalațiilor cu strat fluidizat la sub 400 t/h. În continuare se cercetează în laboratoare stratul fluidizat cu ardere sub presiune, care prezintă, după studiile elaborate, avantaje deosebite în construcția cazanului.

Experimentările făcute pînă în prezent cu cărbune brun și șisturi bituminoase au reliefat perspectivele deosebite pe care le oferă acest sistem de ardere pentru combustibili solizi inferiori, putînd constitui sistemul cel mai eficient de ardere pentru construcțiile preconizate a se realiza în deceniile următoare. Este necesară însă rezolvarea unor probleme funcționale și constructive, astfel ca să se poată diversifica instalațiile și pentru puteri mari. Încadrarea instalațiilor cu strat fluidizat sub presiune în cicluri combinate cu turbine cu gaze și cu abur reprezintă un nou domeniu de utilizare eficientă a acestui sistem de ardere.

În figura 6 se prezintă un astfel de ciclu mixt cu turbină cu gaze, cu abur și cu aer preconizată pentru puteri de 360 MW [4].

Alte procedee de ardere menționate în literatură și aflate în diferite faze de realizare prezintă o importanță relativ redusă pentru gama combustibililor solizi inferiori.

Avantajele prezentate de procesul de gazificare, și în special evitarea poluării atmosferei, prin adaosuri de fondanți în combustibil, dau posibilitatea extinderii folosirii indirecte a cărbunilor în zonele populate, pentru încălziri sau în centrale electrice.

În ultima perioadă, aceste procedee au constituit obiectul unor experimentări intense în multe țări, care dispun de rezerve de cărbune. Se semnalează, de asemenea, tendința de lărgire a gamei de cărbuni destinați gazificării, cu precădere a cărbunilor bruni, inclusiv ligniții. În general se remarcă două orientări principale, și anume: produsul gazificării este gazul de

oraş, pentru încălziri centrale şi uz casnic, şi gazificarea în cadrul centralelor termoelectrice şi utilizarea produsului realizat în cicluri combinate abur-gaze. Prima orientare se semnalează în R.S. Cehoslovacă, R.D. Germană ş.a., iar cea de-a doua în R.F.G., S.U.A., U.R.S.S. etc.

O astfel de centrală cu ciclu mixt (gazogen şi turbină cu gaze) s-a construit în R.F.G. Gazogenul produce gaz la 20 kgf/cm², care după

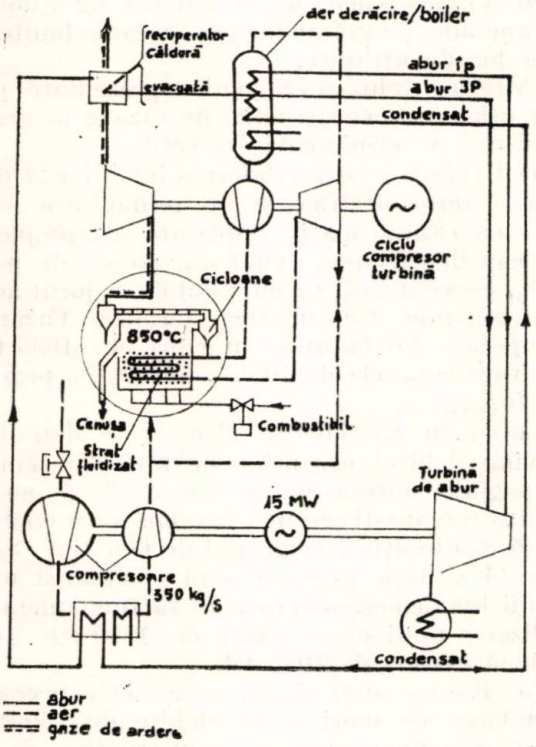


Fig. 6. Ciclu mixt gaze-abur cu fluidizor sub presiune pentru un bloc energetic de 360 MW.

ce parcurge turbina de trecere este ars în focarul unui cazan şi de aici gazele de ardere, avînd 820°C, trec în turbina cu gaze. Centrala are şi un ciclu de abur, ceea ce permite realizarea unui randament al centralei de 36,9%.

Această centrală utilizează cărbune superior de 5660 kcal/kg.

Gazogenele cunoscute pînă în prezent limitează sorturile de cărbune brun ce pot fi gazificate în condiţii economice ($W_{max} = 30\%$, utilizare de oxigen pentru sorturi inferioare ş.a.). Au fost construite, de asemenea, gazogene cu strat fluidizat (Winkler), preocupările actuale fiind axate pe mărirea capacităţii gazogenelor.

Dezvoltarea unei anumite direcţii de valorificare a combustibililor solizi inferiori (ardere directă în sisteme clasice sau speciale, gazificare, distilare ş.a.) este specifică fiecărei ţări şi determinată de o serie de factori, printre care: structura balanţei de energie primară, rezervele de combustibili şi caracteristicile chimice şi energetice ale combustibililor solizi inferiori disponibili.

Tendinţa generală, manifestată în special în ţările a căror energetică se bazează pe combustibili solizi inferiori, este axată pe introducerea unor tehnici de ardere sau de gazificare cu eficienţă sporită, care să conducă la instalaţii cu investiţii specifice reduse, cu grad mic de poluare şi avînd o fiabilitate ridicată.

În ţara noastră, cele mai importante rezerve de energie primară sînt constituite din ligniţi, ceea ce a impus ca dezvoltarea şi structura viitoare a energiei să fie axată, în principal, pe acest combustibil.

Avînd caracteristici deosebite faţă de alte sorturi de cărbuni bruni, ligniţii româneşti se comportă diferit în procesul de ardere, aceste aspecte specifice fiind prezentate în lucrările de specialitate. În acest sens, folosirea optimizată a combustibililor solizi indigeni trebuie să ţină seama de:

— sorturile caracteristice combustibililor solizi livraţi;

— distanţa de la locul de extracţie la locul de utilizare;

— tipurile de cazane şi randamentul acestora.

Procedeele de ardere a ligniţilor româneşti, utilizate la cazane, sînt funcţie de mărimea acestora şi pot fi grupate în următoarele categorii:

a) Arderea în suspensie sau în stare pulverizată la cazane.

b) Arderea în strat pe grătar mecanic, cu răscolire intensă, pentru cazanele mijlocii.

c) Arderea în strat pe grătar fix, cu deservire manuală sau semimecanizată, pentru cazanele mici.

Stabilirea limitelor de debit între aceste categorii este determinată de următoarele criterii tehnico-economice:

— Arderea în stare pulverizată a ligniţilor româneşti permite obţinerea unor randamente ridicate, mai mari de 80%, valorile crescînd odată cu debitul de abur al cazanului.

Instalaţiile de măcinare prezintă însă dezavantajul că au un consum specific de energie electrică pentru măcinare ridicat, ceea ce coboară mult randamentul net al cazanului. În figura 7 se prezintă curbele de variaţie a randamentului brut şi net, funcţie de mărimea cazanelor, pentru cazanele de abur şi, respectiv, pentru cazanele de apă caldă şi apă fierbinte.

Consumul specific de energie electrică fiind crescător cu scăderea sarcinii nominale, cazanele mai mici de 30 t/h, respectiv de 25 Gcal/h, nu mai prezintă avantaje economice pentru folosirea arderii în stare pulverizată. Este de semnalat că menţinerea unor randamente ridicate, de peste 80%, se realizează şi în cazul cazanelor mari funcţionînd pe şisturi bituminoase, deşi valorile sînt mai coborîte decît la lignit, cu circa 4—5 procente, pentru aceeaşi mărime de cazan.

— Arderea pe grătare mecanice a ligniților românești conduce la randamente brute de circa 70—73%, compensate parțial de consumul redus de energie electrică necesar antrenării barelor de grătar și evacuării zgurii. În figurile 7 și 8,

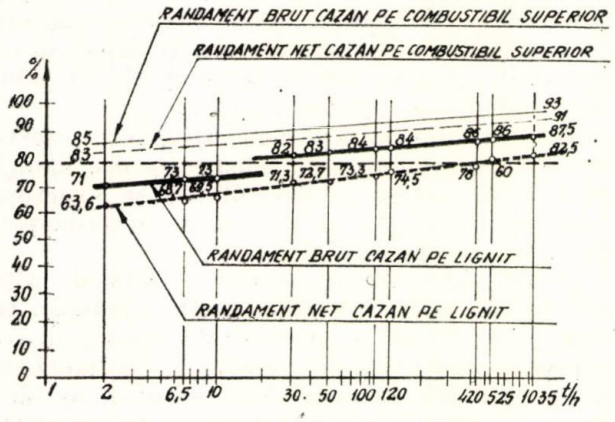


Fig. 7. Variația randamentului funcție de debitul cazanului pentru cazanele de abur din R.S.R.

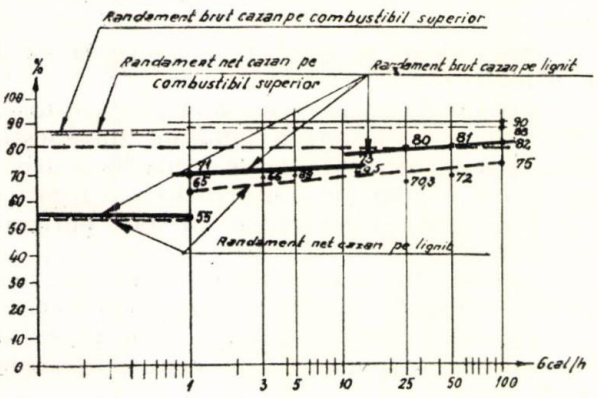


Fig. 8. Variația randamentului funcție de debitul caloric pentru cazanele de apă fierbinte din R.S.R.

curbele randamentului net la cazanele mijlocii și mari sînt în continuare, ceea ce confirmă corectitudinea soluțiilor tehnice adoptate.

Încercările de reducere a consumurilor la grătarele mecanice cu grad mai redus de răscolire nu au condus la rezultate corespunzătoare, randamentele brute obținute fiind mai reduse decît cele realizate pe grătarul cu împingere răsturnată. Pentru alegerea unei soluții optime, a fost prospectată situația din țări avînd combustibili similari. Singura țară care utilizează lignit în cazane mijlocii este R.D. Germană, însă instalațiile de ardere utilizate, pe care s-au efectuat probe și cu ligniți românești, au realizat arderi necorespunzătoare, ceea ce nu a permis asimilarea lor pentru ligniții indigeni.

— Arderea în strat pe grătar fix, cu alimentare și răscolire manuală sau semimecanizată, se utilizează la cazane mici, sub 2 t/h, respectiv 1 Gcal/h. Randamentele ce pot fi realizate în cazul utilizării de lignit cu $Q_i^i > 2\,500$ kcal/h sau a brichetelor de lignit se situează la valori scăzute, de 50—65%.

Utilizarea unor sisteme de ardere îmbunătățite (grătare mecanice), la aceste dimensiuni de cazane, este neeconomică, prin creșterea importantă a costurilor specifice și consumurilor de metal, care se situează la valori de 10—15 ori mai mari decît la cazanele similare funcționînd pe combustibil superior. În cazul cazanelor mijlocii și mari, costurile specifice și consumurile de metal sînt de circa 3 ori mai mari decît la combustibilii superiori.

Aceste valori necorespunzătoare pentru indicii tehnico-economici la arderea ligniților în cazane mici pe grătar fix sau mecanic limitează aria lor de utilizare.

Criteriile tehnico-economice prezentate permit orientarea construcției de cazane în următorii ani pe următoarele direcții.

a) Utilizarea cu precădere a ligniților în centralele termoelectrice și de termoficare echipate cu cazane mari, amplasate în apropierea minelor de cărbune, avînd radamente de peste 80%, concentrînd, pe cît posibil, în jurul acestor centrale consumatori termici. Cazanele energetice sînt cuprinse în gama 50—1035 t/h, din care cazanele de 1035 t/h sînt în prezent în funcțiune.

Luînd în considerare elementele limitative privind debitul cazanelor de abur prezentate în paginile anterioare, se consideră că pentru ligniții românești puterea maximă care poate fi luată în discuție este grupul de 600 MW. Și în această situație este necesară efectuarea unor studii tehnico-economice care să fundamenteze utilizarea unui singur cazan de 1800 t/h sau a a două cazane de 1035 t/h.

În situația unui singur cazan este necesară asimilarea de mori avînd debite de 150 t/h, rezolvarea unor probleme constructive deosebite, ca urmare a creșterii dimensiunilor de focar și înălțimii cazanului, probleme de fiabilitate etc.

În ceea ce privește cazanele mari de apă caldă și fierbinte, care se situează în gama 25—100 Gcal/h, este de observat că prin numărul de ore anual de funcționare redus, precum și prin exploatarea lor la sarcini parțiale, la care consumul de păcură este relativ ridicat, acestea au o eficacitate redusă a investiției.

b) Asimilarea fabricației de cazane mijlocii pentru abur pe lignit în gama 6,5—10 t/h și apă în domeniul 1—10 Gcal/h, cu randamente de 71—73%. Aceste cazane sînt destinate pentru consumatori termici ce nu pot fi grupați lîngă centralele termice mari. Combustibilul utilizat la arderea în strat este lignit sortat 30—80 mm, necesar a fi asigurat de întreprinderile specializate.

c) Utilizarea ligniților la cazane mici nu este recomandată, datorită aspectelor tehnico-economice nefavorabile. Se poate lua în considerare utilizarea lor limitată pentru încălziri centrale și scopuri tehnologice numai în zone

geografice situate în apropierea bazinelor carbonifere, ceea ce permite costuri reduse pentru combustibil şi posibilitatea livrării unor ligniţi sortaţi, avînd caracteristici mai bune.

În afara orientării dezvoltării energeticii pentru procedeele şi instalaţiile clasice, se menţionează o serie de preocupări recente pentru introducerea tehnologiilor de ardere speciale şi pentru gazificarea ligniţilor româneşti. În acest sens se remarcă rezultatele bune obţinute la arderea ligniţilor în strat fluidizat pe o instalaţie-pilot. După omologarea prototipului de 1 Gcal/h, se va trece la diversificarea cazanelor de acest tip, urmînd ca, pe măsura elucidării problemelor gazodinamice, să se treacă la realizarea de instalaţii mai mari, care să înlocuiască treptat cazanele mijlocii.

Într-o etapă viitoare apare necesară abordarea arderii în strat fluidizat sub presiune, care oferă avantaje deosebite, prin reducerea gabaritelor instalaţiilor.

În ceea ce priveşte gazificarea ligniţilor româneşti, studiile efectuate au arătat dificultăţile importante care apar la gazificarea unor sorturi inferioare de lignit. Aplicarea unor procedee utilizate în alte părţi, ca, de exemplu, procedeul Lurgi, limitează umiditatea la max. 30%, ceea ce reduce aria bazinelor de ligniţi ce pot fi luaţi în considerare (Cîmpulung, Filipeşti de Pădure, Ţebea, Comăneşti) sau impune uscarea prealabilă a lignitului respectiv; celelalte procedee (Kopsers, Trotzek), deşi nu limitează conţinutul de umiditate, necesită tehnologii neeconomice la nivelul actual al cercetărilor. Aceste aspecte tehnice, corelate cu cele economice şi ţinînd seama de rezervele de lignit din R.S.R., determină ca gazificarea să fie orientată în special în domeniul încălzirii locuinţelor şi pentru uz casnic, fie prin transportul gazului rezultat şi prelucrat în prealabil, fie prin arderea lui în centralele termice echipate cu cazane [5], [6].

Pentru alegerea unei soluţii tehnico-economice corespunzătoare în domeniul gazificării ligniţilor din R.S.R. sînt încă necesare cercetări comparative ale diferitelor procedee de gazificare.

În ceea ce priveşte luarea în considerare şi a altor tehnici de ardere, se consideră că proprietăţile ligniţilor româneşti nu conferă justificări tehnico-economice pentru aplicarea lor. Într-o serie de lucrări s-a arătat că ligniţii indigeni nu pot fi utilizaţi economic în focare-ciclon, datorită în special conţinutului ridicat de cenuşă; aceleaşi consideraţii pot fi menţionate şi pentru focarele turbionare.

Bibliografie

[1] Seefeldt, K. F. şi Waldmann, H. *Grenzleistungsprobleme bei fossil gefeuerten Grossdampferzeugern.* În: VGB Mitt. H. 8 şi H. 9, 1975, p. 498 şi 567.

[2] von Hennecke, H. şi Beelman, R. *Feuerungseinrichtungen grosser Dampferzeuger für feste Brennstoffe.* Comunicare internă Babcock. Oberhausen, R.F.G.

[3] Höger, R. *Der Temperaturverlauf im Austrittsquerschnitt von Brennkammern.* În: Archiv Ges. Wärmetechnik, nr. 2, 1951, p. 60–80.

[4] Harboe, H. *Importance of coal for heat and power generation.* Stal-Laval, Suedia, 1974.

[5] Smuck, A. *Gazeificarea combustibililor solizi din R.S.R.* Memoriu intern ICPET, 1976.

[6] Berindan, I. *Arderea combustibililor solizi în instalaţii de debit mic.* Memorii interne ICPET, filiala Cluj-Napoca, 1975-1976.

(Articol intrat în redacţie la 29 decembrie 1977)

Posibilităţi de apreciere a solicitărilor dinamice la paletele de turbină care funcţionează în apropierea rezonanţei

Ing. I. Istrate*)

Este cunoscut că paletele turbinelor de abur şi gaze fac parte din categoria organelor de maşini puternic solicitate din punct de vedere termic şi mecanic.

În cadrul articolului de faţă se vor trata solicitările mecanice de încovoiere care pot apărea în mod suplimentar, ca urmare a funcţionării unor palete în apropierea rezonanţei. Funcţionarea paletei în asemenea condiţii se poate datora existenţei unei dispersii prea mari de frecvenţă pe rîndul de palete, unei frecvenţe apropiate de cea corespunzătoare turaţiei nominale, sau unui efect combinat.

Obiectul lucrării este de a analiza toate aceste cazuri în scopul aprecierii nivelului de solicitări suplimentare care pot să se dezvolte în paletă.

Solicitările care se constată în orice secţiune a paletei sînt de natură statică şi dinamică. Solicitările statice sînt produse de forţa aburului aplicată static pe paletă. Solicitările dinamice sînt componente ale variaţiei forţei aburului. Aceste componente se pot amplifica foarte mult la paletele ale căror frecvenţe proprii dinamice au valorile apropiate de frecvenţele de rezonanţă $\left(K\frac{n}{60}\right)$.

Forţa variabilă a aburului se datoreşte în principal imperfecţiunii pasului dintre canalele aburului, abaterilor constructive ale canalului de abur care pot să apară în planul de separa-

*) Ing. Ion Istrate este şeful Atelierului de proiectare din întreprinderea „Energoreparaţii".

ție al diafragmelor, precum și gradului de admisie parțială de la treptele de reglaj.

Se poate aprecia deci că forța variabilă a aburului acționează asupra oricărui rînd de palete, și acest lucru nu poate fi evitat.

1. Structura mișcării produsă de forța variabilă

Forța perturbatoare care acționează asupra unui corp poate fi scrisă sub forma :

$$F(t) = F_0 \cos\omega t, \tag{1}$$

unde

F_0 este forța aplicată static ;

ω — pulsația forței perturbatoare.

Ecuația mișcării creată de $F(t)$ se exprimă prin relația :

$$X = \left[C_1 - \frac{F_0}{m(p^2 - \omega^2)} \right] \cos pt + C_2 \sin pt + \frac{F_0}{m(p^2 - \omega^2)} \cos \omega t, \tag{2}$$

în care

x este elongația acestei mișcări ;

m — masa corpului care vibrează ;

p — pulsația proprie a acestuia ;

C_1, C_2 — constante de integrare.

Dacă se analizează fiecare termen al relației (2), se observă că ecuația este o sumă de doi termeni (mișcări, respectiv vibrații) :

— una care are loc cu pulsația proprie p și a cărei amplitudine depinde de condițiile inițiale C_1 și C_2 ;

— a doua este o vibrație cu pulsația ω a forței perturbatoare cu amplitudinea (A), care reprezintă chiar vibrația forțată provocată de forța armonică perturbatoare și care se exprimă prin relația :

$$A = \frac{F_0}{m(p^2 - \omega^2)} \tag{3}$$

Amplitudinea de echilibru (A_0), adică deplasarea care ar putea lua naștere sub acțiunea forței F_0 aplicată static (prin anularea pulsației ω din primul termen al relației 2) este exprimată prin relația :

$$A_0 = \frac{F_0}{m\,p^2} \tag{4}$$

Raportul dintre amplitudinea reală A și amplitudinea de echilibru A_0 s-a notat cu β și se numește coeficient dinamic, conform [3].

Pentru o mișcare fără frecare, coeficientul dinamic β este exprimat prin :

$$\beta = \frac{A}{A_0} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p_2}} \tag{5}$$

Pentru o mișcare cu frecare, β este exprimat prin (6) și γ prin (7), iar λ este decrementul logaritmic al elementului care vibrează :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2\right]^2 + \gamma^2 \left(\frac{\omega}{p}\right)^2}} \tag{6}$$

$$\gamma = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2}} \tag{7}$$

La o funcționare pe rezonanță ($\omega = p$) coeficientul dinamic β din (6) ia forma :

$$\beta_{rez} = \frac{1}{\gamma} \cong \frac{\pi}{\lambda} \tag{8}$$

Pentru un decrement logaritmic $\lambda = 0{,}02$, se obține $\beta_{rez} = 157$.

Deși relația (6) se utilizează pentru sisteme de vibrații cu un singur grad de libertate, totuși se propune spre utilizare și în cazul vibrației paletelor, considerîndu-se că erorile create prin aplicarea acestei relații nu vor fi mari.

Aceasta presupune că forța aburului (F_0) acționează concentrat în centrul de greutate al repartiției aburului pe partea activă a paletei.

În lucrarea [1] se redau unele valori ale coeficienților dinamici calculați pentru anumite tipuri de palete pentru $\lambda = 0{,}02$;

— pentru palete cu profil constant se indică $\beta_{rez} = 139{,}5$;

— pentru palete cu profil constant și rigidizate prin bandaj se indică $\beta_{rez} = 145{,}6$.

Dacă se analizează comparativ valorile coeficienților dinamici calculați pentru cazurile particulare ale paletelor (palete cu profil constant) cu valoarea coeficientului $\beta_{rez} = 157$ calculat cu (6), se poate scrie relația (9) conform figurii 1.

$$\beta_{prez} = \beta_{rez} - \Delta\beta \tag{9}$$

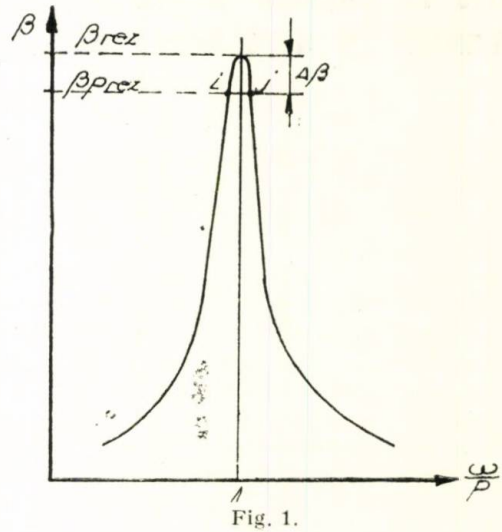


Fig. 1.

În cazul paletelor analizate, $\Delta\beta \leqslant 12\%$, dar pentru paletele cu profil variabil nu este exclus ca $\Delta\beta$ să atingă valori de pînă la 30% din β_{rez}.

Coeficientul dinamic al paletelor [1] este exprimat prin relaţia :

$$\beta_{p_{rez}} = \frac{\sigma_d}{\sigma_{st}} = \frac{2\pi}{\lambda} \times C_i, \qquad (10)$$

în care

$\beta_{p_{rez}}$ este coeficientul dinamic al paletei;

σ_d — solicitarea dinamică de încovoiere produsă de forţa perturbatoare $F(t)$;

σ_{st} — solicitarea statică de încovoiere produsă de forţa statică F_0 (forţa aburului);

C_i — un coeficient care depinde de tipul paletei, de forma frecvenţei etc. Pentru frecvenţa fundamentală a paletei de secţiune constantă şi nerigidizată, $C_i = 0{,}444$.

În baza relaţiei (10), solicitările dinamice din partea activă a paletei pot fi apreciate cu relaţia (11), în care β_{rez} se calculează cu relaţia (6).

$$\sigma_d = \sigma_{st}\ \beta_{rez} \qquad (11)$$

2. Analiza vibraţiilor paletelor

Relaţia fundamentală utilizată în analiza vibraţiilor paletelor este următoarea :

$$f_d \pm \Delta f_d = K \frac{n}{60}, \qquad (12)$$

unde

f_d este frecvenţa dinamică a paletei;

Δf_d — rezerva de frecvenţă, şi care este egală cu $\varphi \dfrac{Kn}{60}$;

K — factorul de multiplicitate a armonicii turaţiei;

n — turaţia rotorului turbinei;

φ — coeficientul care exprimă depărtarea frecvenţei paletei faţă de frecvenţa de rezonanţă (stabileşte zonele de rezonanţă şi este redat în tabelul 1).

Tabelul 1

K	2	3	4	5	6
φ	0,15	0,08	0,06	0,05	0,04

Pentru o funcţionare normală şi sigură, este necesar ca frecvenţa dinamică a paletei să nu fie cuprinsă în interiorul zonei de rezonanţă ($\pm\Delta f_d$).

În figurile 2 şi 3 s-au reprezentat geometric zonele de rezonanţă ($\pm\ \Delta f_d$). Din figura 2 rezultă relaţia (13), iar din figura 3 relaţia (14);

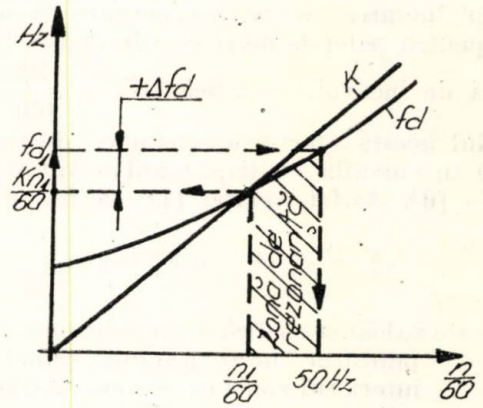


Fig. 2.

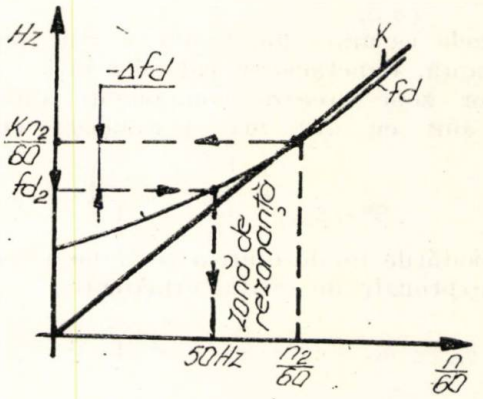


Fig. 3.

$$f_{d_1} = K \frac{n1}{60} + \Delta f_{d_1} \qquad (13)$$

$$f_{d_2} = K \frac{n^2}{60} - \Delta f_{d_2} \qquad (14)$$

Funcţionarea paletelor şi în zonele de rezonanţă a făcut obiectul unor cercetări [1], [6], furnizîndu-se anumite indicaţii.

În lucrarea [1] se recomandă o intensitate de încovoiere statică $\sigma_{st} = \dfrac{5}{100}\ \sigma_{st}$ pentru funcţionarea paletelor pe rezonanţă şi cu admisie parţială.

În lucrarea [6] se menţionează că eforturile dinamice din paletele cu frecvenţe joase care lucrează în apropierea zonei de rezonanţă cresc între 10 şi 30 de ori.

Din cercetările care se cunosc pînă în prezent cu privire la determinarea experimentală a coeficientului dinamic la paletele de frecvenţe

joase (palete lungi și cu profil variabil) se poate menționa că s-au obținut valori ale coeficienților dinamici sub valoarea de 139,5.

Aceste experiențe împreună cu indicațiile date în lucrarea [6] ne pot permite să acceptăm, pentru paletele de frecvențe joase, intensitatea de încovoiere statică $\sigma^*_{st} = \frac{10}{100}\,\sigma_{st}$.

În felul acesta eforturile dinamice din aceste palete se vor afla în diapazonul de valori indicat de [6]. Astfel, relația (11) ia forma (15)

$$\sigma^*_d = \sigma^*_{st}\,\beta^* = 0{,}1\,\beta^*\sigma_{st}, \qquad (15)$$

unde

β^* este valoarea coeficientului dinamic corespunzător unui anumit punct din interiorul zonei de rezonanță (fig. 4);

σ^*_d — solicitarea dinamică dintr-o secțiune activă a paletei corespunzătoare solicitării de încovoiere a aburului (σ_{st}).

Zonele haşurate din figura 4 sînt zone de rezonanță. Funcționarea paletelor în interiorul acestor zone creează componente dinamice care sînt cu atît mai periculoase cu cît

$$\beta^* \to \beta_{rez};\left(\frac{\frac{Kn}{60}}{f_d} = 1\right)$$

Solicitările totale dintr-o secțiune a paletei sînt exprimate de relația următoare:

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{st} + \sigma^*_d = \sigma_{Fc} + \sigma_{st}(1+0{,}1\beta^*), \qquad (16)$$

unde

σ_{Fc} este solicitarea la tracțiune dezvoltată de forța centrifugă;

σ_{st}, σ^*_d — au semnificațiile arătate anterior.

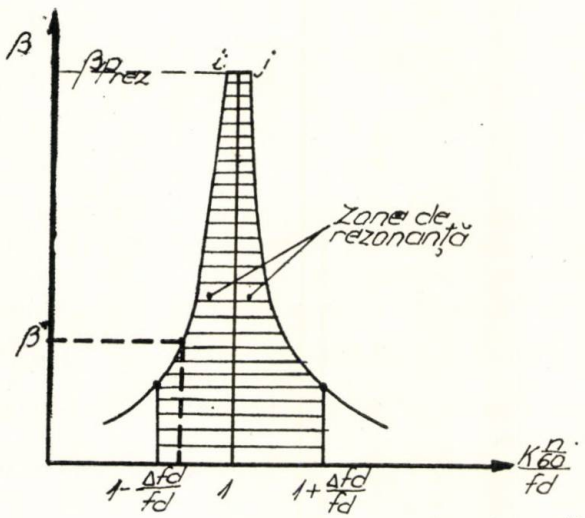


Fig. 4.

Pentru a se putea aprecia aceste solicitări dinamice ca urmare a variației frecvenței statice proprii sau a variației frecvenței turbinei, se vor analiza armonicile frecvențelor paletelor pe intervalul $K = 2$ la 6, utilizîndu-se relația:

$$f_d = K\,\frac{n}{60}(1+\varphi) \qquad (17)$$

În tabelul 2 sînt înscrise exemple de frecvențe statice care pot crea frecvențe dinamice corespunzătoare aplicării relației (17).

Pentru toate frecvențele dinamice din tabelul 2, factorul B a fost dedus prin rezolvarea relației (18), deoarece s-a admis că frecvențele statice și dinamice sînt cunoscute. S-a ales această cale pentru a se evita introducerea unor erori

Tabelul 2

K	2	3	4	5	6
f_{st}	68	140	190	245	295
f_d	115	162	212	262,5	312
B	3,44	2,65	3,54	3,55	4,12

de calcul care ar putea să intervină prin utilizarea unor relații pentru determinarea lui B, care probabil ar fi contestate de anumiți specialiști.

$$f_d = \sqrt{f^2_{st} + B\left(\frac{n}{60}\right)^2} \qquad (18)$$

3. Analiza variației solicitărilor dinamice

În cele ce urmează se vor analiza trei cazuri posibile de variație a solicitărilor dinamice, ca urmare a variației frecvenței turației și a frecvenței statice a paletelor.

3.1. *Analiza nivelului solicitărilor dinamice corespunzătoare cazului de turație constantă și de variație a frecvenței statice*

În cest caz se consideră că frecvența turației este invariabilă (50 Hz) pe timpul funcționării turbinei, iar frecvența statică a paletelor dintr-un rînd de palete este diferită (cu dispersie de frecvență). În această analiză se admite o dispersie de frecvență de 5 Hz pentru palete cu frecvența fundamentală pînă la 100 Hz și 2% pentru palete cu frecvențele fundamentale cuprinse între 100 și 300 Hz. Aceste valori sînt uzuale în practică.

În tabelul 3 s-au redat toate elementele necesare calculului nivelului de vibrații în această ipoteză. Frecvențele dinamice au fost calculate utilizîndu-se frecvențele statice și factorul B din tabelul 2.

Analizîndu-se valorile 0,1 β^* din tabelul 3, se observă că, în cazul în care există dispersie de frecvență, componenta dinamică crește, funcție de mărimea acesteia.

Tabelul 3

K	2	3	4	5	6
f_{st}	63	137,2	186,2	240,1	289,1
f_d	121,1	159,5	208,6	257,9	305,4
$K\frac{n}{60}$	100	150	200	250	300
β^*	4,90	8,54	12,32	16,44	23,92
$0{,}1\beta$	0,49	0,854	1,23	1,64	2,33

3.2. *Analiza nivelului solicitărilor dinamice corespunzătoare cazului de turație variabilă (49 Hz) și de frecvență statică constantă*

În acest caz se consideră că frecvența turației este variabilă (minimă 49 Hz) pe timpul funcționării turbinei, iar frecvența statică a paletelor are dispersie nulă.

În tabelul 4 s-au redat toate elementele necesare calculului nivelului de vibrații în această ipoteză. Frecvențele dinamice au fost calculate utilizîndu-se frecvențele statice și factorul B din tabelul 2.

Tabelul 4

K	2	3	4	5	6
f_{st}	68	140	190	245	295
f_d	113,5	161,5	212,2	261,8	311,3
$K\frac{n}{60}$	98	147	196	245	294
β^*	3,93	5,96	7,39	8,33	10
$0{,}1\beta^*$	0,39	0,59	0,74	0,83	1,0

În acest caz, produsul $0{,}1\ \beta^*$ are o influență mai mică la creșterea componentei dinamice.

3.3. *Analiza solicitărilor dinamice corespunzătoare cazului generalizat (de turație variabilă și de existență a dispersiei de frecvență statică pe același rînd de palete)*

Acest caz se referă la o însumare de efecte a cazurilor 3.1. și 3.2, rezultatele lor fiind centralizate în tabelul 5.

Tabelul 5

K	2	3	4	5	6
f_{st}	63	137,2	186,2	240,1	289,1
f_d	110,5	158,7	205,8	257,1	305,7
$K\frac{n}{60}$	98	147	196	245	294
β^*	4,6	7,02	10,3	11,5	13,26
$0{,}1\beta^*$	0,46	0,7	1,03	1,15	1,33

Din analiza acestor valori se constată că cel mai periculos caz de creștere a componentei dinamice este cazul centralizat în tabelul 3.

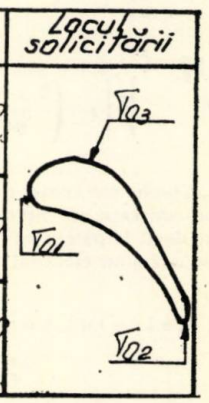
Această observație poate fi considerată ca deosebit de importantă, pentru că aduce anumite lămuriri cu privire la solicitările mari, care se afirmă că apar la paletele turbinelor pe perioadele cînd acestea funcționează la frecvențe de 49 Hz.

Exemplu de calcul

Pentru a se pune în evidență cronologia etapelor de calcul, precum și analiza rezultatelor obținute, se propune un exemplu de calcul pe o paletă cu profil variabil, cunoscîndu-se următoarele elemente:

- frecvența statică 52—54 Hz
- lungimea activă a paletei 840 mm
- diametrul mediu al paletei 2440 mm
- tipul paletei:
  - cu secțiune variabilă;
  - simplu încastrată;
  - cu două sîrme de amortizare;
- frecvența forței perturbatoare (turația rotorului) 49→50 Hz
- solicitarea statică de încovoiere și de tracțiune a paletei creată de forța aburului F_0 este prezentată în tabelul 6;
- paleta este confecționată din oțel aliat cu $\sigma_r = 85$ dAN/mm².

Tabelul 6

Secțiunea	σ_{o1}	σ_{o2}	σ_{o3}	σ_{fc}	Locul solicitării
La baza părții active	150	100	-80	3160	
În zona primei găuri (cota 540)	360	275	-204	3000	
În zona găurii a doua (cota 710)	115	90	-80	1500	

Pentru prezentarea unui exemplu de calcul cît mai cuprinzător, se consideră că aceeași paletă are frecvența dinamică cunoscută și egală cu 94 Hz. În această ipoteză se vor efectua comparativ toate calculele care prezintă interes și se vor nota cu asterisc.

4.1. *Calculul frecvenței dinamice*

4.1.1. Calculul factorului B [7]

$$B = 0{,}832\frac{Dm}{1} + 2{,}5\frac{1}{Dm} = 0{,}832\ \frac{2440}{840} + 2{,}5\frac{840}{2440} =$$

$$= 2{,}41 + 0{,}89 = 3{,}3.$$

$$f_d = \sqrt{f_{st}^2 + B\left(\frac{n}{60}\right)^2}$$

$$f_{d_1} = \sqrt{52^2 + 3{,}3 \times 50^2} = \sqrt{2704 + 8250} = 104{,}6 \text{ Hz}$$

$$f_{d_2} = \sqrt{52^2 + 3{,}3 \times 49^2} = \sqrt{2704 + 7923} = 103{,}0 \text{ Hz}$$

$$f_{d_3} = \sqrt{54^2 + 3{,}3 \times 50^2} = \sqrt{2916 + 8250} = 105{,}6 \text{ Hz}$$

$$f_{d_4} = \sqrt{54^2 + 3{,}3 \times 49^2} = \sqrt{2916 + 7923} = 104{,}1 \text{ Hz}$$

4.2. *Calculul coeficientului dinamic*

4.2.1. Calculul coeficientului β^* (relația 6)

$$\beta_1^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 50}{104{,}6}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 50}{104{,}6}\right)^2}} = 11{,}5$$

$$\beta_2^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 49}{103}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 49}{103}\right)^2}} = 10{,}5$$

$$\beta_3^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 50}{105{,}6}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 50}{105{,}6}\right)^2}} = 10{,}0$$

$$\beta_4^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 49}{104{,}1}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 49}{104{,}1}\right)^2}} = 8{,}8$$

$$\beta_5^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 50}{94}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 50}{94}\right)^2}} = 7{,}6$$

$$\beta_6^* = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{2\times 49}{94}\right)^2\right]^2+\frac{1}{10^5}\times\left(\frac{2\times 49}{94}\right)^2}} = 11{,}62$$

Calculele efectuate cu frecvența dinamică de 94 Hz permit să se constate că nivelul componentei dinamice este mai mare decît la paleta cu frecvența dinamică de 104,6 Hz. În acest caz s-au efectuat toate calculele pentru $\beta_6^* \cong 11{,}7$.

4.3. Calculul componentei dinamice (15)

$$\sigma_d^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{st}$$

4.3.1. Calculul solicitărilor totale pentru secțiunea de la baza părții active a paletei

— *În zona bordului de atac*

$$\sigma_{d_1}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{01} = 0{,}1 \times 11{,}7 \times 150 = 175 \text{ dAN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{01} + \sigma_{d_1}^* = 3160 + 150 + 175 = 3485 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{3485} = 2{,}4$$

— *În zona bordului de fugă*

$$\sigma_{d_2}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{02} = 0{,}1 \times 11{,}7 \times 100 = 117 \text{ dAN/cm}^2$$

În această zonă ascuțită intervin și concentratorii de tensiune care pot amplifica foarte mult valoarea $\sigma_{d_2}^*$. Probabil aceasta este cauza amorsării fisurilor de la bordul de fugă.

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{02} + \sigma_{d_2}^* = 3160 + 100 + 117 = 3377 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{3377} = 2{,}5$$

4.3.2. Calculul solicitărilor totale pentru secțiunea din zona primei găuri (numerotată de la baza paletei)

— *În zona bordului de atac*

$$\sigma_{d_1}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{01} = 0{,}1 \times 11{,}7 \times 360 = 421 \text{ dAN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{01} + \sigma_{d_1}^* = 3\,000 + 360 + 421 = 3781 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{3781} = 2{,}3$$

— *În zona bordului de fugă*

$$\sigma_{d_2}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{02} = 0{,}1 \times 11{,}7 \times 275 = 322 \text{ dAN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{02} + \sigma_{d_2}^* = 3000 + 275 + 322 = 3597 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{3597} = 2{,}4$$

4.3.3. Calculul solicitărilor totale pentru secțiunea din zona celei de-a doua găuri

— *În zona bordului de atac*

$$\sigma_{d_1}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{01} = 0{,}1 + 11{,}7 \times 115 = 134 \text{ dAN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{01} + \sigma_{d_2}^* = 1500 + 115 + 134 = 1749 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{1749} = 4{,}8$$

— *În zona bordului de fugă*

$$\sigma_{d_2}^* = 0{,}1 \quad \beta_6^* \quad \sigma_{02} = 0{,}1 \times 11{,}7 \times 90 = 105 \text{ dAN/cm}^2$$

$$\sigma_t = \sigma_{Fc} + \sigma_{02} + \sigma_{d_2}^* = 1500 + 90 + 105 = 1695 \text{ dAN/cm}^2$$

$$C = \frac{\sigma_r}{\sigma_t} = \frac{8500}{1695} = 5$$

Coeficienții de siguranță calculați sînt centralizați în tabelul 7.

Pentru solicitări variabile [4] se recomandă $C = 1{,}3 \div 1{,}9$. Dacă se ține seama și de concentratorii de tensiuni, care sînt frecvenți la palete, ca urmare a gradului de rugozitate a suprafeței active, a eroziunilor ce apar pe bordurile de atac sau de fugă sau a supraîncălzirii locale în zonele de placare cu

Tabelul 7

Zona \ Secțiunea	$C = \sigma_r/\sigma_t$		
	Bază	La prima gaură	La a doua gaură
Bordul de atac	2,4	2,3	4,3
Bordul de fugă	2,5	2,4	5

material dur împotriva eroziunii bordului de atac, atunci coeficienții C din tabelul 7 vor fi mai reduși.

Probabil, aceasta este una din cauzele fisurării, respectiv a ruperii acestui tip de paletă din regiunea dintre cele două găuri practicate în scopul amortizării vibrațiilor.

Concluzii

— Lucrarea de față propune spre utilizare relația (15), pentru a se putea face o apreciere a nivelelor componentelor dinamice care se dezvoltă în paletele funcționînd în apropierea rezonanței.

— Calculele centralizate în tabelele 3, 4 și 5 furnizează informații interesante cu privire la variația componentelor dinamice, pentru diferite cazuri de funcționare a paletelor.

Deosebit de important este faptul că pentru cazul în care paleta funcționează la o frecvență de 49 Hz, solicitările dinamice nu cresc sensibil în raport cu celelalte cazuri prezentate.

— Valoarea dispersiei de frecvență statică pentru fiecare rînd de palete are o importanță deosebită în stabilirea nivelului componentei dinamice. De aceea reducerea de dispersie de frecvență trebuie să stea în atenția specialiștilor din sectoarele de execuție și montaj al paletelor.

— Montarea incorectă a paletelor pe disc conduce la creșterea solicitărilor de încovoiere statică, respectiv la creșterea componentei dinamice, care poate deveni foarte periculoasă.

— Exemplul de calcul propus are rolul de a pune în evidență utilitatea metodei de lucru prezentată, care, după părerea autorului, în cazul în care paleta funcționează în zona de rezonanță, trebuie să se cunoască și un criteriu de apreciere a nivelului componentei dinamice.

Bibliografie

[1] Levin, A. V. *Funcționarea paletelor și discurilor turbinei cu abur.* Moscova, 1953.

[2] Grecu T. ș.a. *Turbine cu abur.* Editura tehnică, București, 1976.

[3] Ponomariov, S. D. ș.a. *Calculul de rezistență în construcția de mașini.* Vol. III. Editura tehnică, București, 1964.

[4] Buzdugan Gh. *Calculul de rezistență la solicitări variabile.* Editura tehnică, București, 1963.

[5] * * * *Metalurgie mecanică.* Editura tehnică, București, 1970 (traducere din limba engleză — S.U.A.)

[6] * * * Westinghouse Engineer nr. 3, mai 1967.

[8] Istrate, I. *Considerații privind calculul la oboseală al paletelor de turbină.* În: Energetica nr. 2, 1971.

[7] Nowacki, W. *Dinamica sistemelor elastice.* Editura tehnică, București, 1968 (traducere din limba poloneză).

(Articol intrat în redacție la 11 ianuarie 1978)

Îndepărtarea impurităților feromagnetice din circuitul apă-abur al centralelor termoelectrice prin filtrare electromagnetică

Chim. **Elena Chirica**
și chim. **Mihai Chirica***)

Aspecte generale privind coroziunea și produsele de coroziune ale circuitului apă-abur

Limitele impuse calității apei de alimentare și de cazan, precum și calității aburului, cresc odată cu cerințele unei exploatări neîntrerupte, de lungă durată, a cazanelor și turbinelor în centralele electrice de mare putere. Pentru calitatea apei de alimentare este hotărîtoare sarcina termică a suprafeței de încălzire a cazanului în raport cu care variază temperatura pereților țevilor fierbătoare și temperatura stratului-limită de apă de lîngă pereții țevilor. Odată cu creșterea fluxului termic prin pereți, cresc și limitele impuse calității apei de alimentare.

Principalele neajunsuri, în cazul cazanelor de presiune înaltă, constau în depunerile de silice, fier și cupru pe suprafețele de schimb de căldură și în coroziuni.

Între depunerile din circuitul apă-abur și coroziunea produsă de apă și abur există o strînsă legătură — coroziunea pereților interiori ai țevilor fierbătoare apare îndeosebi cînd grosimea depunerilor atinge o anumită valoare în raport cu fluxul termic și cu permeabilitatea față de apă a depunerilor [1].

Pentru presiuni peste 100 kgf/cm², această grosime nu trebuie să depășească 0,1 mm.

Fierul conținut de apa de alimentare precipită în zonele cu schimb termic mărit, prin depășirea solubilității sale, dînd naștere la depuneri. De altfel, fierul nu este o cauză directă a coroziunilor, dar, contribuind la formarea depunerilor care frînează schimbul de căldură prin peretele metalic, provoacă indirect fenomene locale de coroziune [2].

Fierul și cuprul din apa de alimentare provin, respectiv, de la preîncălzitoare și condensatorul turbinei.

Condensatul de bază, în mod teoretic, trebuie să fie identic, din punctul de vedere al indicilor chimici, cu aburul din care provine. În exploatare, datorită infiltrațiilor de apă de răcire la condensator, coroziunilor latente din circuit cît și condensatelor preîncălzitoarelor de joasă și înaltă presiune, se produc impurificări — perioade critice de impurificare apar

* Chim. Elena Chirica și chim. Mihai Chirica sînt cercetători la ICEMENERG.

de asemenea la pornirile de agregate noi şi la repornirile agregatelor aflate în exploatare, după opriri mai lungi.

Preîncălzitoarele, în majoritate, sînt prevăzute cu ţevi de oţel: de aceea produsele de coroziune sînt oxizi de fier, care prin depunere în cazan înrăutăţesc transferul termic, producînd totodată şi pierderi de presiune. Aceşti oxizi de fier, ajunşi în apa de alimentare, sînt în cea mai mare parte feromagnetici, fapt care se explică prin aceea că, în apa degazată pînă la un rest de 10—20 μg/l, la temperaturi ridicate, are loc reacţia Schikorr, în care Fe $(OH)_2$ trece, prin Fe_2O_3 (feromagnetic), în Fe_3O_4 (feromagnetic) [3].

Magnetita (Fe_3O_4), atunci cînd este o peliculă aderentă şi compactă, constituie stratul protector al ţevilor.

Viteza reacţiei de formare a magnetitei este mică sub 100°C şi scade şi mai mult cu creşterea vitezei de circulaţie; din acest motiv, preîncălzitoarele au cel mai mult de suferit din cauza coroziunii, mai ales în absenţa alcalinizării sau în cazul unei alcalinizări insuficiente.

Întrucît oxizii de fier, după degazorul de 6 ata, sînt în procent ridicat de natură feromagnetică, un mijloc eficace pentru înlăturarea lor este filtrarea electromagnetică.

De asemenea, un astfel de filtru va fi foarte util la punerea în funcţiune a unui cazan nou, după un interval scurt de timp de la spălarea acidă, cînd un procent mare din oxizii de fier este reprezentat de magnetită.

Filtrul electromagnetic — principii constructive şi funcţionale

Cîmpul electromagnetic a fost folosit pentru prima dată la înlăturarea produselor de coroziune, de natură feromagnetică, din circuitul apă-abur al centralelor electrice prin construirea unor instalaţii cu magneţi permanenţi de Spillner [4], cu ajutorul cărora s-au obţinut randamente de 30 — 40%. Aceste instalaţii prezentau dezavantajul unei limite de utilizare de temperatură destul de joasă (sub 100°C) şi o curăţire anevoioasă.

Prin folosirea electromagneţilor, în acelaşi scop, se lărgeşte domeniul de aplicare, putînd conecta filtrele respective chiar pe traseul apei de alimentare; se pot îmbunătăţi randamentele de reţinere prin mărirea intensităţii cîmpului magnetic; curăţirea filtrelor se face cu uşurinţă prin demagnetizarea materialului de umplutură şi spălarea acestuia cu un jet de apă [5], [6].

În ţara noastră, primele încercări pentru stabilirea eficacităţii filtrării electromagnetice şi a factorilor ce o influenţează s-au făcut pe o instalaţie de laborator realizată în cadrul ICEMENERG, reprezentată schematic în figura 1.

Filtrul electromagnetic (*1*), cu un debit de 400 l/h, este alcătuit dintr-un corp cilindric de sticlă (*a*), prevăzut cu o manta (*b*) prin care circulă apă de răcire, pentru a evita încălzirea bobinei în perioadele în care se fac experimen-

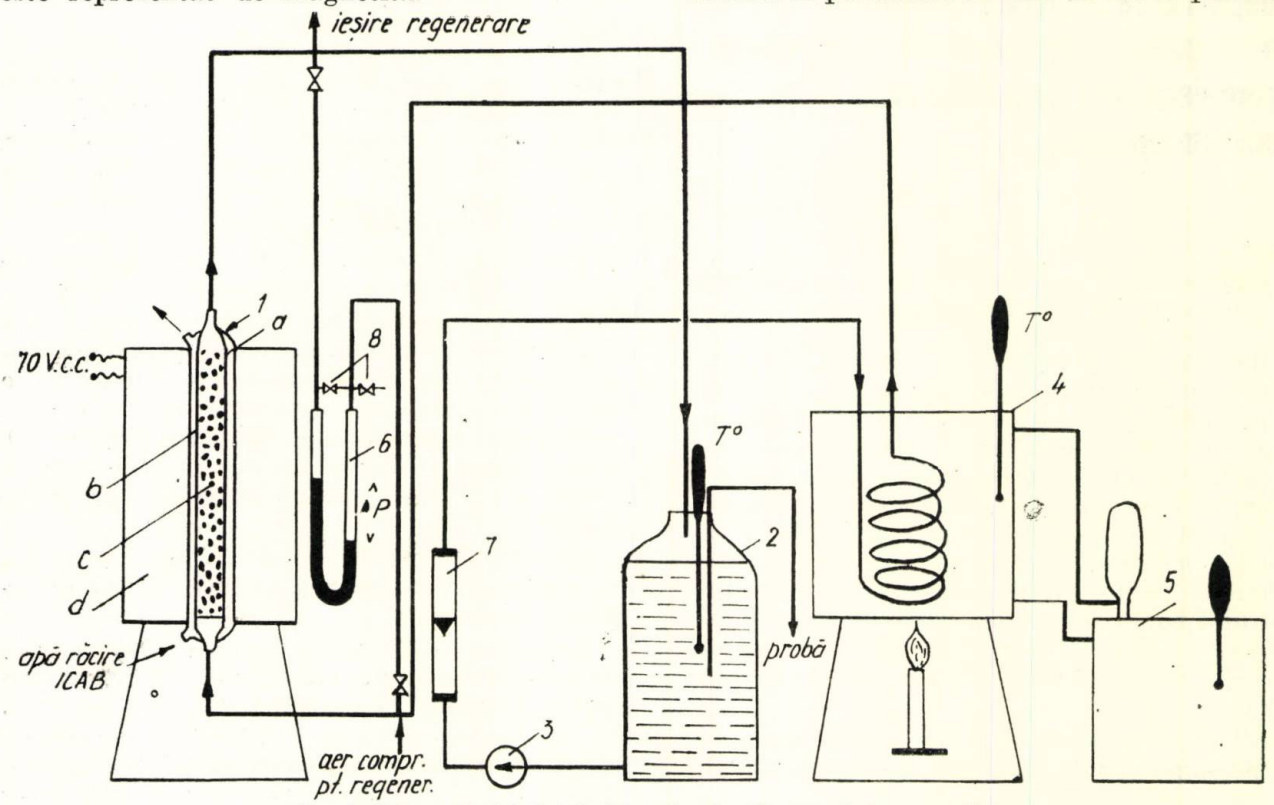


Fig. 1. Schema instalaţiei de laborator de filtrare electromagnetică.

1 — filtru de laborator; *2* — rezervor; *3* — pompă de alimentare; *4* — serpentină de încălzire; *5* — termostat; *6* — manometru diferenţial; *7* — rotametru; 8 — aerisire

tări de tratare a apei la temperaturi ridicate. Ca material de umplutură s-au folosit bile de oţel (*c*), cu diametrul de 6,3 mm (din literatura de specialitate reiese ca fiind cel mai adecvat). Protejarea lor împotriva coroziunii s-a făcut prin spălare cu acid citric şi pasivizare cu azotit de sodiu, obţinîndu-se un strat argintiu, aderent şi stabil. După P.H.G. Draper [7], acest strat protector este format, de bază, din Fe_2O_3 şi un procent redus de Fe_3O_4.

Cîmpul magnetic este creat de o bobină (*d*) cu spire din conductor de cupru emailat, cu diametrul de 1,15 mm, alimentată cu curent continuu, tensiunea maximă fiind de 76 V. Acestă limită superioară pentru tensiunea de alimentare a fost stabilită variind tensiunea în domeniul 1—110 V şi s-a stabilit că, la valori ale tensiunii de alimentare de peste 80 V, după un număr de ore de funcţionare, temperatura în bobină creşte peste valoarea maxim permisă de stratul izolator, de 80°C. La această tensiune de lucru este necesar ca prin mantaua filtrului să circule apă de răcire.

Carcasa şi flanşele sînt confecţionate din material feromagnetic, cu scopul de a reduce pierderile şi a mări intensitatea cîmpului magnetic.

Lungimea bobinei este de 195 mm, realizînd o intensitate a cîmpului magnetic de 2150 Oe ($1{,}7 \cdot 10^5$ A/m) în centrul filtrului, în regim normal de funcţionare, la 72 V.

Apa de tratat (apă cu suspensie de magnetită), aflată în rezervorul (*2*), este vehiculată, cu ajutorul pompei (*3*), prin serpentina de încălzire, aflată în rezervorul (*4*), în care se menţine o anumită temperatură de lucru constantă cu ajutorul termostatului (*5*), şi apoi traversează filtrul electromagnetic de jos în sus, reîntorcîndu-se în rezervorul (*4*). Căderea de presiune pe filtru se determină cu ajutorul manometrului diferenţial (6), iar debitul de lucru cu ajutorul rotametrului (*7*).

Pentru urmărirea modului de reţinere a magnetitei pe filtru, s-a utilizat un colector de fracţiuni, recoltîndu-se probe la interval de 150 secunde.

Montajul astfel realizat permite modificarea parametrilor de lucru: viteză de filtrare (debit), temperatură, intensitatea cîmpului magnetic şi conţinutul în magnetită al apei de tratat.

Regenerarea filtrului se face astfel:

— se întrerupe alimentarea bobinei cu curent continuu;

— se circulă în continuare apă prin filtru de jos în sus;

— se alimentează bobina cu curent alternativ de 220 V pentru perioade scurte de timp (1—2 secunde) şi se repetă această operaţie de 20—30 ori.

Concomitent cu această operaţie se barbotează aer comprimat.

Deoarece materialul de umplutură a fost demagnetizat, jetul de apă şi aer antrenează oxizii de fier depuşi pe bilele de oţel şi sînt evacuaţi la canal. Operaţia de regenerare durează cîteva minute.

Eficacitatea filtrării electromagnetice în funcţie de parametrii de lucru

Folosind montajul descris mai sus, s-au făcut determinări lucrînd în circuit închis, soluţia vehiculată obţinîndu-se prin diluarea unui volum bine determinat de suspensie de magnetită, preparată conform STAS 8996/71.

În condiţiile lucrului în circuit închis, nu poate fi determinat randamentul propriu-zis al filtrului, dar poate fi apreciată eficacitatea filtrării electromagnetice în funcţie de parametrii de lucru, şi anume: viteza de filtrare, intensitatea cîmpului electromagnetic, conţinutul de magnetită şi temperatura apei tratate.

Pentru început s-a studiat influenţa vitezei de filtrare asupra gradului de deferizare a apei tratate.

S-a lucrat la 70°C, tensiunea de alimentare fiind de 74 V, conţinutul în magnetită al apei vehiculate prin filtru electromagnetic de 2,5 ppm Fe total, variabila fiind viteza de filtrare. Rezultatele obţinute sînt reprezentate grafic în figura 2, din care rezultă că gradul de deferizare este cu atît mai mare cu cît viteza de filtrare este mai mică. Totuşi, alura curbei arată că, pînă la viteze de aproximativ 0,25—0,27 m/s, aceasta se menţine de peste 97%; prin urmare se poate lucra şi la aceste viteze. Deci se pot realiza intalaţii de filtrare electromagnetică cu volum redus şi debit de tratare mare, reducîndu-se corespunzător şi investiţiile necesare.

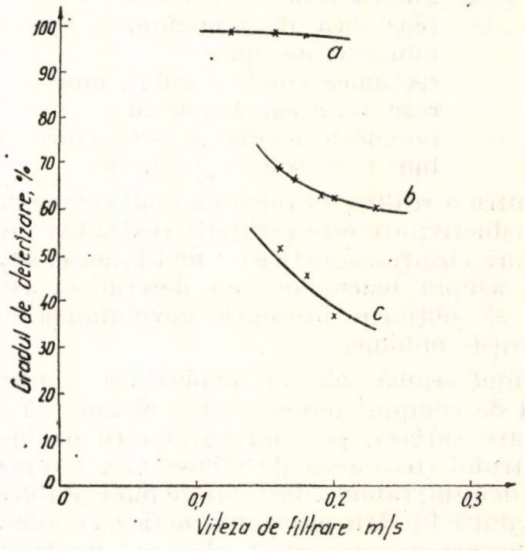


Fig. 2. Variaţia gradului de deferizare în funcţie de viteza de filtrare, pentru;
a — suspensia de magnetită; *b* — apa de alimentare; *c* — condensatul de bază.

Gradul de eliminare a oxizilor de fier din apa tratată depinde în mare măsură de intensitatea cîmpului magnetic. În condiţii similare

de lucru, gradul de deferizare crește cu creșterea intensității cîmpului magnetic. Datele obținute sînt înscrise grafic în figura 3.

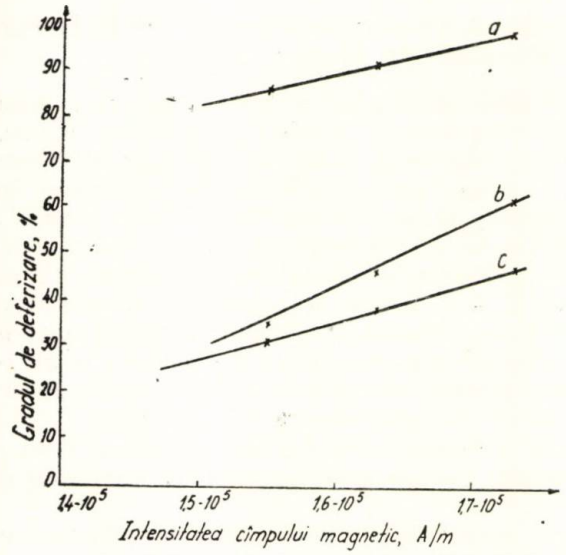


Fig. 3. Variația gradului de deferizare în funcție de intensitatea cîmpului magnetic, pentru :
a — suspensia de magnetită ; *b* — apa de alimentare ; *c* — condensatul de bază.

Intensitatea cîmpului magnetic H al bobinei este dată de relația (1) :

$$H = \frac{IN}{L} = \frac{UN}{RL} = \frac{UNS}{\rho\, l_m L},\quad [H] = \left[\frac{A\ \text{spire}}{\text{m}}\right], \tag{1}$$

în care :

I este intensitatea curentului, A ;
U — tensiunea de alimentare, V ;
N — numărul de spire ;
S — secțiunea conductorului, mm² ;
ρ — rezistivitatea, Ωmm²/m ;
l_m — lungimea medie a unei spire, m ;
L — lungimea solenoidului, m.

Pentru a realiza un filtru cu înaltă eficacitate și productivitate este esențială realizarea unor cîmpuri electromagnetice cît mai intense, acționînd asupra mărimilor ce-l determină, astfel încît să obținem instalații nevoluminoase și investiții minime.

Ținînd seamă că în exploatare conținutul de compuși feromagnetici ai apei de alimentare variază, pe cînd parametrii de lucru ai filtrului (tensiunea de alimentare, temperatura, debitul) rămîn constanți, se pune problema eficacității filtrării electromagnetice la diferite conținuturi de magnetită ale apei de tratat.

În acest scop, s-a făcut un mare număr de determinări pe filtrul de laborator, lucrîndu-se cu concentrații de magnetită în domeniul 0,5—10 ppm Fe total, tensiunea de alimentare fiind de 74 V, temperatura de 70°C, iar debitul de 400 l/h.

Analizînd figura 4, în care este reprezentat gradul de deferizare în funcție de concentrația suspensiei de magnetită, se observă că panta curbei este destul de mică, prin urmare se pot obține randamente destul de mari, de peste 80%, chiar și pentru valori de 20 — 30 p pb.

Temperatura de lucru influențează randamentul de reținere a oxizilor de fier în măsura în care acesta influențează procesul de transformare a hidroxidului feros (produs primar de coroziune) în oxizi feromagnetici.

Pentru a obține o imagine cît mai reală asupra eficacității filtrării electromagnetice, s-au făcut experimentări la CTE Rovinari, montînd filtrul electromagnetic, mai întîi la locul de probă pentru apa de alimentare de la cazanul 3 și apoi pe condensatul de bază, la același grup.

S-a lucrat cu filtrul în flux continuu, urmărindu-se influența tuturor parametrilor de lucru asupra randamentului de filtrare.

În perioada experimentărilor s-a urmărit dependența randamentului de filtrare de următorii parametri :

— conținutul de fier total în influent ;
— intensitatea cîmpului magnetic creat în filtrul electromagnetic ;
— viteza de trecere a apei prin filtru ;
— temperatura influentului.

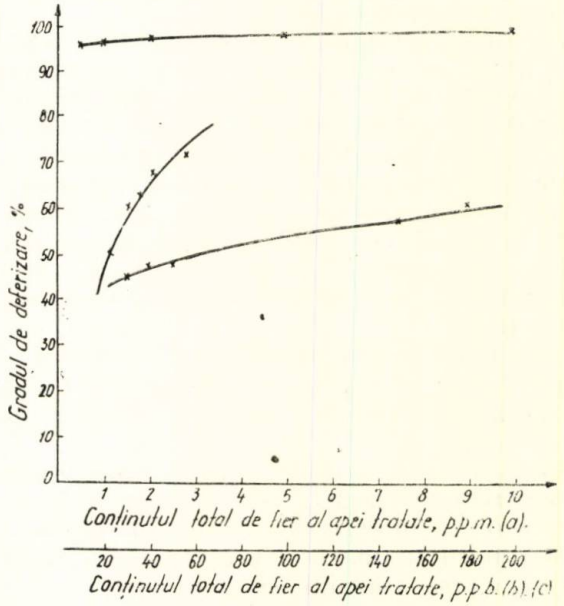


Fig. 4. Variația gradului de deferizare în funcție de conținutul total de fier al apei tratate :
a — suspensia de magnetită ; *b* — apa de alimentare ; *c* — condensatul de bază

Rezultatele sistematizate pentru apa de alimentare sînt date în tabelul 1, iar pentru condensatul de bază în tabelul 2.

Analizînd valorile din tabelul 1, se constată următoarele ;

— Randamentul de reducere a conținutului de fier scade odată cu scăderea conținutului de fier din influent. Cu toate acestea, chiar pentru

Tabelul 1

Datele privind randamentul filtrării electromagnetice a apei de alimentare, în fază micropilot, în funcție de parametrii de lucru

Nr. crt.	$U_{alim.}$ V	$I_{alim.}$ A	H A/m	Q l/h	V m/s	t °C	Fe total intrare ppb	Fe total ieșire ppb	η %
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	56	16	71,4
2	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	42	13	68,0
3	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	38	14	63,0
4	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	31	12	61,0
5	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	24	12	50,0
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	31	12	61,3
2	60	1,3	$1{,}63 \cdot 10^5$	400	0,2	74	30	16	46,0
3	50	1,0	$1{,}55 \cdot 10^5$	400	0,2	74	31	20	35,0
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	450	0,23	74	31	12	61,0
2	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	74	32	12	62,5
3	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	370	0,19	74	30	11	63,0
4	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^6$	330	0,17	74	32	10	66,6
5	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	300	0,16	74	33	10	69,6

Tabelul 2

Date privind randamentul filtrării electromagnetice a condensatului de bază, în fază micropilot, în funcție de parametrii de lucru

Nr. crt.	$U_{alim.}$ V	$I_{alim.}$ A	H A/m	Q l/h	v m/s	t °C	Fe total intrare ppb	Fe total ieșire ppb	η %
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	34	180	71	60,6
2	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	32	500	64	57,3
3	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	33	60	30	50
4	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	31	50	26	48
5	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	32	40	21	47,5
6	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	33	31	17	4,51
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	34	30	16	46,6
2	60	1,3	$1{,}63 \cdot 10^5$	350	0,18	33	29	18	38
3	50	1,0	$1{,}55 \cdot 10^5$	350	0,18	34	32	22	31
1	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	400	0,2	34	27	17	37
2	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	350	0,18	31	24	13	45,8
3	74	1,5	$1{,}73 \cdot 10^5$	300	0,16	32	31	15	51,6

un conținut de fier total din influent de 24 μg/l, filtrul electromagnetic reduce conținutul de fier la 12 μg/l (fig. 4b). Acest randament de 50% este întîlnit și la alte aparate, realizate pe plan mondial, pentru conținuturi mici de fier din influent.

Atunci cînd scade intensitatea cîmpului în zona activă a filtrului, randamentul de filtrare se micșorează corespunzător. În cazul filtrului cu care s-au efectuat experimentările, intensitatea cîmpului de $1{,}70 \cdot 10^5$ A/m se dovedește a fi optimă (fig. 3 *b*).

— Creșterea vitezei de trecere a apei prin filtru conduce la scăderea randamentului de filtrare. Astfel, cînd viteza este de 0,16 m/s, randamentul de filtrare este de 70%, iar o creștere a vitezei la 0,23 m/s conduce la scăderea randamentului la 61% (fig. 2 *b*).

Rezultatele experimentărilor pentru reducerea conținutului de fier din condensatul de bază (tabelul 2) conduc la aceleași concluzii ca și în cazul filtrării apei de alimentare (tabelul 1), cu deosebirea că randamentul de filtrare este mai redus, corespunzător temperaturii de lucru.

Comparînd rezultatele obținute în condiții de exploatare cu cele obținute în laborator, se constată că, pentru condiții similare de lucru, randamentele de reținere a oxizilor de fier sînt mai mici în instalație decît în laborator. Aceste rezultate se pot explica, pe de o parte, prin aceea că, în laborator, fierul din apa de tratat a fost numai sub formă de magnetită, pe cînd în instalație, dat fiind temperaturile de lucru sub 100°C, o parte din oxizii de fier sînt paramagnetici, pe de altă parte prin conținutul redus de fier total, de cele mai multe ori în jur de 30 ppb.

Se constată diferență și între randamentul filtrării electromagnetice a apei de alimentare și cel al condensatului; explicația este analogă celei date anterior (fig. 2 *c*, 3 *c*, 4 *c*).

S-a comparat gradul de reținere a fierului total din condensatul de bază pe filtrul electromagnetic cu cel pe filtrul *H*-cationic din instalația de tratare a condensatului de la grupul patru și s-a constatat că valorile sînt comparabile.

Rămîne de elucidat (la faza pilot) în ce măsură filtrul electromagnetic poate suplini filtrul *H*-cationic sau de aluvionare din instalațiile de tratare a condensatului.

Posibilități de amplasare a filtrului electromagnetic în circuitul apă-abur, în vederea îndepărtării impurităților feromagnetice ale acestuia

Din cele expuse reiese că cea mai eficientă este montarea filtrului electromagnetic în domeniul temperaturilor ridicate. Astfel poate fi montat înaintea degazorului de 6 ata sau după degazor, în aspirația pompelor de alimentare. Este indicată filtrarea integrală a apei de alimentare; în acest caz, pentru a fi rentabil se va lucra cu viteze mari, în jur de 0,3 m/s.

Pentru compensarea căderii de presiune de aproximativ o atmosferă, la această viteză este necesară o pompă de circulație.

Deși la tratarea condensatului randamentele sînt mai mici, totuși nu lipsite de interes, se pot monta filtre electromagnetice pentru purificarea condensatului de bază înaintea instalației de demineralizare, cît și pentru condensatul industrial și de termoficare.

Filtrarea electromagnetică prezintă, de asemenea, interes pentru purificarea apei din circuitul primar al centralelor nuclearoelectrice echipate cu reactoare răcite cu apă sub presiune și pentru purificarea apei de alimentare a generatoarelor de abur din CNE [6], [8], [9].

În vederea proiectării și realizării filtrelor electromagnetice de debite mari, industriale, datele obținute cu ajutorul filtrului de laborator nu sînt suficiente. Sînt necesare încercări suplimentare pe o instalație-pilot pentru optimizarea deferizării electromagnetice.

În același scop, se cer rezolvate probleme legate de construcția propriu-zisă a filtrului și de economicitate.

În cadrul ICEMENERG s-a construit un filtru-pilot pentru un debit de 12 t/h, care urmează să fie experimentat la CET-laborator a Institutului politehnic București, iar rezultatele vor fi prezentate într-un alt material.

Concluzii

Filtrarea electromagnetică reduce substanțial cantitatea oxizilor feromagnetici conținuți de apa de alimentare, aceasta depinzînd foarte mult de temperatura la care se lucrează, de intensitatea cîmpului magnetic, precum și de viteza de filtrare.

Randamentul de filtrare variază între 50 și 70%, în funcție de condițiile de funcționare a filtrului.

Filtrul electromagnetic se poate utiliza pentru reducerea conținutului de fier total al apei de alimentare și a condensatului grupurilor energetice, atît la punerea în funcțiune cît și în funcționare normală.

De asemenea, filtrarea electromagnetică se poate aplica și la reducerea conținutului de fier din circuitul primar al centralelor nuclearoelectrice.

Elucidarea tuturor problemelor legate de construcția, economicitatea și optimizarea filtrării electromagnetice urmează să se facă pe o instalație-pilot, cu debitul de 12 t/h.

Bibliografie

[1] Kirsch, H. *Depuneri și coroziuni în circuitul apă-abur al cazanelor de presiune ridicată.* În: T.D.C. — eaux, nr. 336, 1971, p. 457.

[2] Karas, F. *Tratarea apei și a aburului în instalațiile termoenergetice.* Editura tehnică, București, 1967.

[3] Bohnsach, G. *Comportarea ferohidroxidului la temperatură ridicată.* În: T.D.C. — eaux, nr. 336, 1971, p. 471.

[4] Spillner, F. *Filtrarea magnetică pentru curățirea condensatului în teorie și practică.* În: B.W.K. 21, nr. 8, 1969, p. 401—409.

[5] Heitmann, H. G. *Metode și realizări în domeniul tratării condensatului și apei de alimentare.* V.G.B. Speisewassertagung 1968, p. 43—53.

[6] Heitmann, H. G. *Tratarea condensatului — procedee — elaborări — utilizări.* În: B.W.K. nr. 5, 1970, p. 224.

[7] Draper, P. H. G. *Structura și mecanismul formării stratului protector de oxizi cu ajutorul azotitului de sodiu.* În: Corrosions Science nr. 7, 1967, p. 91—101.

[8] Martînova, O.I. *Unele tendințe ale optimizării regimului apei al CTE în R.F.G.* În: Energohozeaistvo za rubejom, nr. 5, 1972, p. 19—27.

[9] * * * Material C.A.E.R. *Cercetări privind filtrul electromagnetic pentru tratarea agentului termic al circuitului primar din centrale termonucleare,* 1975.

(Articol intrat în redacție la 13 ianuarie 1978)

Studiu comparativ al influenței regimurilor tranzitorii cvasistaționare și de șoc asupra duratei de viață a generatoarelor de abur din centralele nucleare electrice

Dr. ing. **M.G.M. Pop**
Ing. **D. Manea**
Ing. **Ecaterina Ursu***)

În determinarea duratei de viață a generatoarelor de abur (GA) în general și a celor din centralele nucleare electrice (CNE) în special, o problemă importantă este aceea a evaluării efectului regimurilor tranzitorii cvasistaționare prezente în cursul proceselor de pornire-oprire și a celor de șoc, prezente în cursul tuturor celorlalte procese.

Calculul alungirilor specifice datorate regimurilor tranzitorii cvasistaționare și de șoc sugerează faptul că totalitatea regimurilor tranzitorii de șoc este mult mai importantă decît totalitatea regimurilor cvasistaționare, ceea ce impune o reorientare în modul de apreciere a importanței regimurilor tranzitorii [1].

După cum este cunoscut, pînă acum regimurilor tranzitorii de pornire-oprire li s-a acordat, față de celelalte regimuri tranzitorii, o importanță mult mai mare.

Lucrarea de față își propune tocmai lămurirea acestei probleme.

Calculul alungirii specifice datorate temperaturii în cursul regimurilor tranzitorii cvasistaționare

Regimurile tranzitorii cvasistaționare se caracterizează prin aceea că se desfășoară cu o viteză de variație a temperaturii constantă o perioadă îndelungată de timp.

Valoarea alungirii relative a materialului în stare elasto-plastică de eforturi se calculează cu relațiile Hencky [2], [3]:

$$\varepsilon_r = \frac{1+\varphi}{2G}(\sigma_r - \sigma) \qquad (1)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1+\varphi}{2G}(\sigma_t - \sigma) \qquad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1+\varphi}{2G}(\sigma_z - \sigma), \qquad (3)$$

unde

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z), \qquad (4)$$

iar valoarea alungirii reduse:

$$\varepsilon_v = \frac{1+\varphi}{E}\cdot\sigma_c. \qquad (5)$$

În aceste relații, valoarea factorului $(1+\varphi)$ a fost determinată de Ulrich [2] pentru un cilindru gol:

$$1+\varphi = \frac{c^2}{r^2}. \qquad (6)$$

Înlocuind în relația (5), se obține:

$$\varepsilon_v = 100\,\frac{c^2}{r^2}\cdot\frac{\sigma_c}{E}\,[\%]. \qquad (7)$$

Mantaua GA poate fi considerată un cilindru gol cu găuri.

Cunoscînd valoarea grosimii materialului plastifiat la marginea găurii, respectiv la marginea ștuțului de abur sau apă, c [2], [4]:

$$c = r\cdot e^{\frac{1}{2}\left(\left|\frac{\sqrt{3}}{2\cdot\sigma_c}\cdot\xi\cdot V_\theta\,\frac{C_{geom}}{C_M}\right| - 1\right)}, \qquad (8)$$

rezultă valoarea alungirii relative datorate temperaturii în timpul unui regim tranzitoriu cvasistaționar:

$$\varepsilon_v^\theta = 100\,\frac{\sigma_c}{E}\,e^{\left(\left|\frac{\sqrt{3}}{2\cdot\sigma_c}\cdot\xi\cdot\frac{C_{geom}}{C_M}V_\theta\right| - 1\right)} \qquad (9)$$

unde ξ este un coeficient global de corecție a comportării materialului în jurul găurii [2].

$\xi = 1$ la peretele plin;

$\xi = \alpha_w\cdot c_v\cdot c_s$ la marginea găurilor.

α_w, c_v, c_s sînt constante de modificare a comportării materialului în jurul găurii [2].

Modul de obținere a constantelor C_{geom} și C_M este prezentat pe larg în [4].

Considerînd unul din regimurile tranzitorii cvasistaționare specifice funcționării unui GA nuclear [5], [6], și anume regimul de răcire de la 8% sarcină la temperatura mediului ambiant, se poate determina, conform procedeului expus anterior, valoarea alungirii specifice datorate temperaturii.

Regimul tranzitoriu în discuție este prezentat în figura 1.

Calculul alungirii specifice ε_v^θ este prezentat în tabelul 1.

Calculul alungirii specifice datorate șocului termic

Regimurile tranzitorii de șoc termic se caracterizează prin aceea că în timpul desfășurării acestora au loc variații mari de temperatură

*) Dr. ing. Mihai G.M. Pop este cercetător științific principal, Dumitru Manea inginer și Ecaterina Ursu cercetător științific în cadrul Laboratorului de energetică generală, industrială și surse noi de energie din ICEMENERG.

în intervale de timp mult prea mici pentru a le putea considera ca solicitări de tipul menţionat anterior [7], [8].

În cazul unui vas de presiune de tip cilindru gol, caz în care se încadrează şi mantaua GA, la apariţia şocului termic în pereţii vasului nu se stabileşte o temperatură staţionară. Dacă

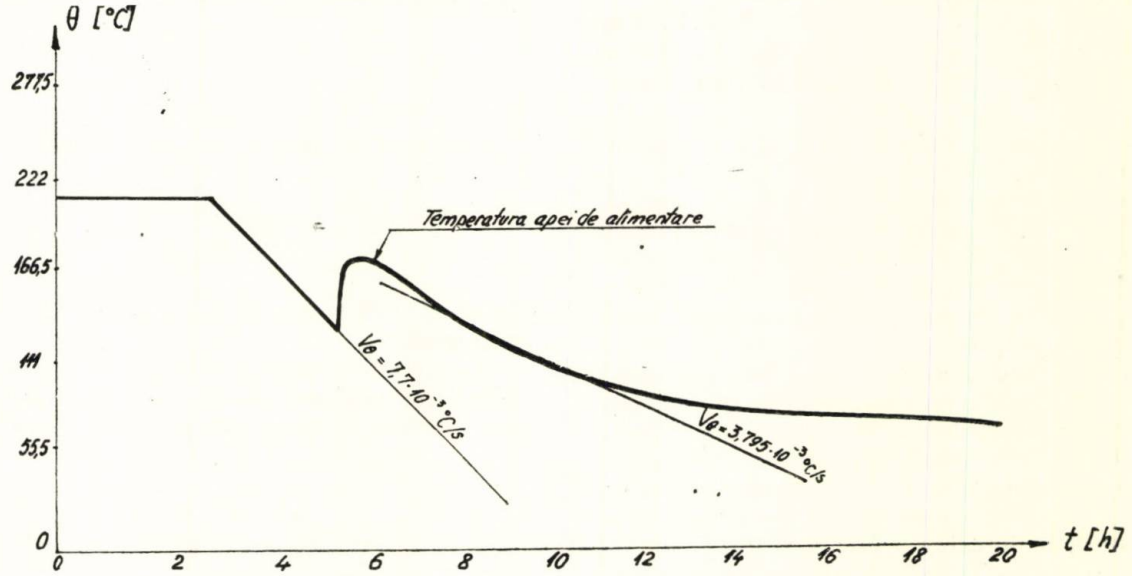


Fig. 1. Regimul tranzitoriu de răcire a GA de la 8% sarcină la temperatura ambiantă pe partea de apă de alimentare.

Tabelul 1

Determinarea alungirii specifice datorate temperaturii în timpul regimului tranzitoriu de răcire a GA de la 8% sarcină la temperatura ambiantă.

Nr. crt.	Mărimea	Unitatea de măsură	Relaţia	Figura	Valoarea
1	σ_c	N/m²	—	—	$1{,}865 \cdot 10^8$
2	E	N/m²	—	—	$2{,}005 \cdot 10^{11}$
3	ξ	—	din [2]	—	2,310
4	C_{geom}	m²	din [4]	—	—0,020172
5	C_M	m⁴ . °C/N.s	din [4]	—	$3{,}860 \cdot 10^{-12}$
6	V_θ	°C/s	—	1	$7{,}700 \cdot 10^{-3}$
7	ε_v^θ	%	(9)	—	0,05395

se admite cazul ideal al unui coeficient de transfer de căldură infinit în fluidul din vas ($\alpha_i \to \infty$), transmiterea căldurii de la fluid la peretele mantalei GA are loc instantaneu. În acest caz, diferenţa medie de temperatură între peretele interior al mantalei şi fluidul din vas la momentul iniţial, $\Delta\theta_m$, şi valoarea maximă a acestei diferenţe, $\Delta\theta_{max}$, sînt egale între ele şi egale cu diferenţa $\Delta\theta_0$ a temperaturilor mediului înainte, θ_1, şi respectiv după modificarea temperaturii, θ_2, conform relaţiei [9]:

$$\Delta\theta_m = \Delta\theta_{max} = \Delta\theta_0 = \theta_2 - \theta_1 \qquad (10)$$

Aceasta corespunde cazului în care eforturile unitare de şoc termic pe suprafaţa interioară a mantalei GA, σ_{wi}, şi eforturile unitare maximale ideale de şoc termic (cînd $\alpha_i \to \infty$), σ_{ws}, sînt egale, şi anume:

$$\sigma_{ws} = \sigma_{wi} = -\frac{E}{1-\mu} \cdot \alpha \cdot \Delta\theta_0. \qquad (11)$$

Această relaţie dă efortul unitar ideal de şoc termic care apare în peretele mantalei GA la momentul iniţial al modificării de temperatură.

Caracteristicile de material din relaţia (11) pot fi înglobate într-un factor de material, Φ_{ws}, care este o funcţie de temperatură (vezi figura 2), întrucît E şi α depind de temperatură.

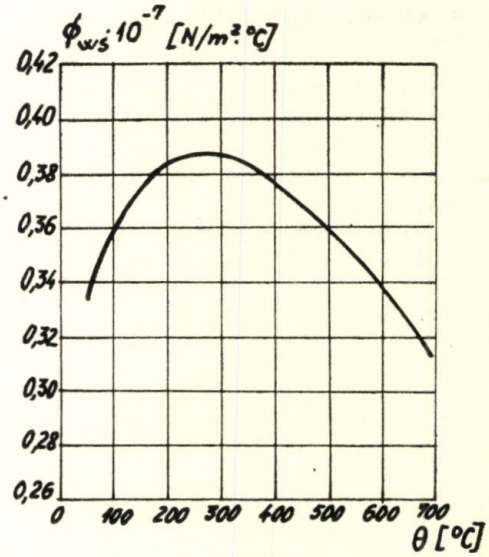


Fig. 2. Factorul de material, Φ_{ws}, pentru oţelul 17 Mn4, utilizat în construcţia mantalei GA considerat.

Se poate obţine astfel efortul unitar ideal de şoc termic:

$$\sigma_{ws} = -\Delta\theta_0 \cdot \Phi_{ws}. \qquad (12)$$

Relaţia de mai sus oferă efortul unitar la întindere, cu semn pozitiv, şi efortul unitar la compresiune, cu semn negativ, după cum procesul fizic este de răcire, sau, respectiv, de încălzire.

Pe măsura desfăşurării procesului tranzitoriu, diferenţele de temperatură în perete se reduc treptat, astfel încît se reduc şi eforturile unitare la partea interioară a suprafeţei, deoarece diferenţa medie de temperatură $\Delta\theta_m$ scade. Pe suprafaţa exterioară a peretelui vasului apar eforturi termice al căror semn este invers faţă de cel al eforturilor care apar pe suprafaţa interioară a peretelui. Acestea cresc la început şi apoi scad, pe măsură ce diferenţa de temperatură în perete se egalizează. Evoluţia în timp a acestora se poate urmări în figura 3, ca funcţie de raportul diametrelor exterior şi interior al vasului cilindric (u). Pe ordonată apare în

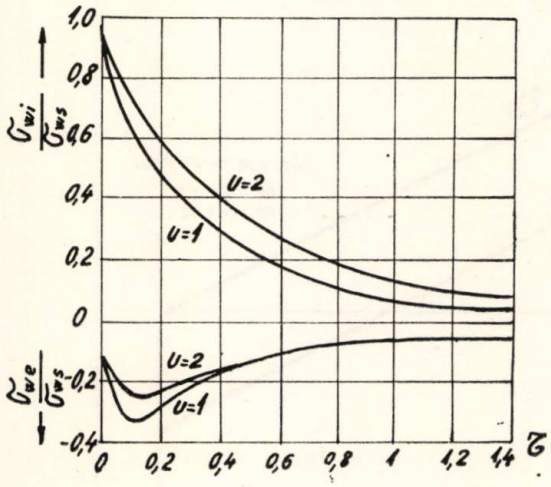


Fig. 3. Evoluţia în timp a eforturilor de şoc termic în peretele cilindrului gol pentru $\alpha_i \to \infty$.

plus efortul unitar de şoc termic pe suprafaţa exterioară, σ_{we}. Pe abscisă este coeficientul adimensional de timp, τ, dat de relaţia:

$$\tau = \frac{t \cdot a}{s^2} \qquad (13)$$

Valoarea lui τ constituie şi criteriul de selecţionare a tipului de solicitare termică.

Se constată că cele mai mari valori pentru eforturile unitare de şoc termic se obţin la suprafaţa interioară a vasului, şi anume la momentul iniţial ($t = 0$), atît pentru încălzire cît şi pentru răcire. Curbele indică şi faptul că eforturile unitare ideale de şoc termic se atenuează mai încet la vasele cu pereţi groşi ($u = 2$) şi mai repede la cele cu pereţi subţiri ($u = 1$), însă rămîn mai mici la cele cu pereţi groşi.

Cazul real, întîlnit în practică, este cel pentru care coeficientul de transfer de căldură în fluid este finit. În general, limitarea lui α_i amortizează procesul de trecere spre cîmpuri cvasistaţionare de temperatură şi în acelaşi timp micşorează considerabil mărimea eforturilor unitare de şoc termic.

Valoarea maximă a eforturilor unitare cvasistaţionare datorate temperaturilor nu este influenţată de α_i, în vreme ce mărimea eforturilor unitare reale de şoc termic, $\overline{\sigma_{ws}}$, este puternic dependentă de coeficientul de transfer

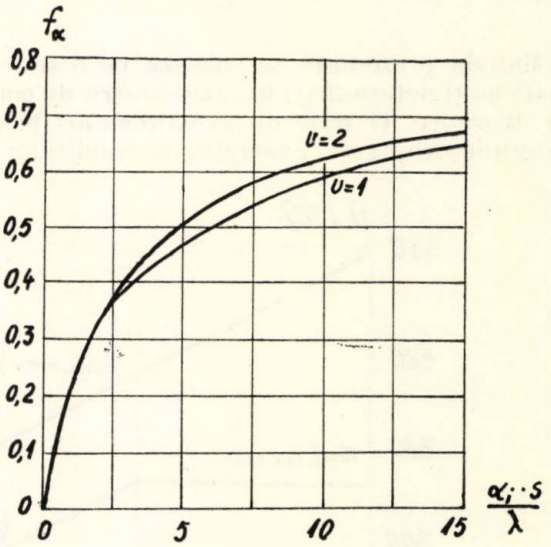


Fig. 4. Factorul de diminuare f_α pentru determinarea efortului unitar real de şoc termic.

de căldură în fluid. Efectul acestuia poate fi pus în evidenţă printr-un factor de diminuare f_α (vezi fig. 4) care modifică efortul unitar ideal de şoc termic [9].

Valoarea lui f_α este o funcţie de mărimea adimensională $\frac{\alpha_i \cdot s}{\lambda}$ şi de raportul u, care caracterizează grosimea cilindrului gol.

$$\overline{\sigma}_{ws} = f_\alpha \cdot \sigma_{ws} \qquad (14)$$

Rezultă că eforturile unitare reale de şoc termic sînt determinate atît de transferul de căldură în fluid şi în peretele vasului prin mărimile α_i şi, respectiv, λ (vezi fig. 5), cît şi de caracteristicile geometrice ale recipientului, date de grosimea s şi de raportul u. Dintre acestea din urmă determinantă este valoarea s şi într-o

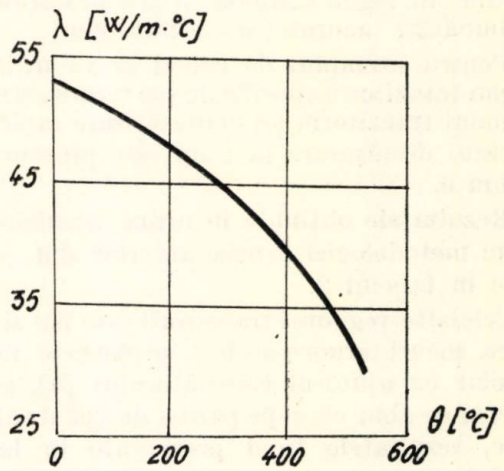


Fig. 5. Conductivitatea termică reală, λ, pentru oţelul 17 Mn4

măsură mult mai mică mărimea u, așa cum reiese și din figura 4. Cunoscînd $\overline{\sigma_{ws}}$, se obține $\varepsilon^{\theta}_{soc}$:

$$\varepsilon^{\theta}_{soc} = \frac{\overline{\sigma_{ws}}}{E}. \qquad (15)$$

Metoda prezentată se bazează pe o serie de coeficienți determinați în cazul nostru de condiții teoretice. O serie de experimentări pentru determinarea, spre exemplu, a condițiilor de transfer de căldură convectiv în zona șocului termic în regim staționar și/sau nestaționar ar îmbunătăți acuratețea rezultatelor.

Pentru exemplul de calcul se va utiliza un regim tranzitoriu specific de șoc termic, și anume regimul tranzitoriu de depresurizare rapidă [5], a cărui desfășurare în timp este prezentată în figura 6.

Rezultatele obținute în urma calculelor conform metodologiei expuse anterior sînt prezentate în tabelul 2.

Celelalte regimuri tranzitorii care pot fi tratate ca șocuri termice au fost prelucrate în mod similar cu ajutorul calculatorului [5], atît pe partea de abur cît și pe partea de apă de alimentare, rezultatele fiind prezentate în tabelele 3 și 4.

După cum se poate observa din tabelele 3 și 4, ca regimuri tranzitorii cvasistaționare au fost considerate numai regimurile tranzitorii 1A și 1B (încălzire de la temperatura ambiantă la temperatura corespunzătoare a 8% din putere, respectiv răcire de la temperatura corespunzătoare a 8% din putere la temperatura ambiantă) [5].

Este de menționat că valorile obținute pentru alungirile specifice caracteristice șocului termic au fost utilizate în diagrama $\varepsilon - N$ [10] pen-

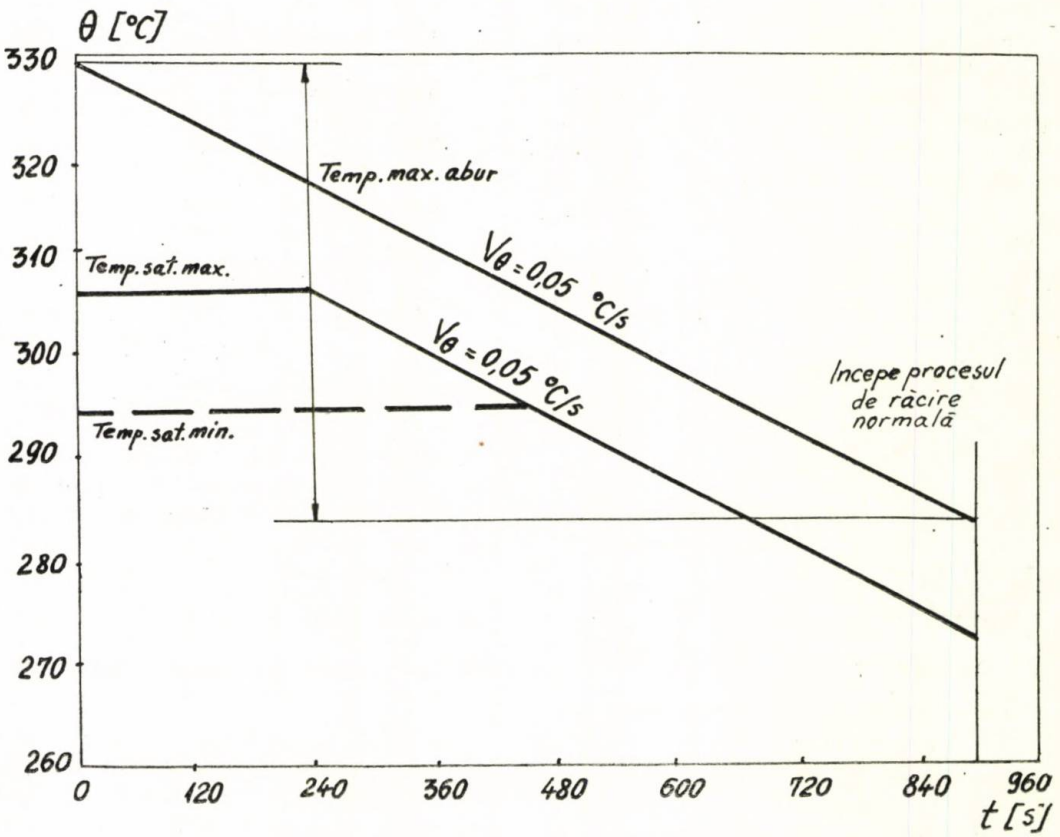


Fig. 6. Regimul tranzitoriu de depresurizare rapidă.

Tabelul 2

Determinarea alungirii specifice corespunzătoare șocului termic (regimul tranzitoriu 9 — depresurizare rapidă)

Nr. crt.	Mărimea	Unitatea de măsură	Relația	Figura	Valoarea
1	θ_1	°C	—	6	329,2
2	θ_2	°C	—	6	284,0
3	$\Delta\theta_0$	°C	(10)	—	45,2
4	Φ_{ws}	N/m².°C	—	2	$3{,}84 \cdot 10^{6}$
5	σ_{ws}	N/m²	(12)	—	$-1{,}735 \cdot 10^{8}$
6	α_i	W/m².°C	—	—	$1{,}450 \cdot 10^{3}$
7	s	m	—	—	0,34
8	λ	W/m.°C	—	5	42,5
9	u	—	—	—	1,097
10	$f\alpha$	—	—	4	0,6225
11	$\overline{\sigma_{ws}}$	N/m²	(14)	—	$-1{,}080 \cdot 10^{8}$
12	E	N/m²	—	—	$1{,}920 \cdot 10^{11}$
13	$\varepsilon^{\theta}_{soc}$	%	(15)	—	0,05635

Tabelul 3

alorile alungirilor specifice datorate temperaturii şi şocului ter-ıic pentru regimurile tranzitorii de proiect la GA nuclear pe partea de abur

Regim tranzitoriu	ε_v^θ	$\varepsilon_{şoc}^\theta$
1A	0,0539461	
1B	0,0510991	
2A	—	0,0453308
2B	—	0,0460776
3	—	0,0271184
4	—	0,0322431
5	—	0,0049763
6	—	0,0086762
7	—	0,0104813
8	—	0,0460528
9	—	0,0563500
10	—	0,0039780
11	—	0,0249125
14	—	0,0474645
16	—	0,1106406
17	—	0,0981771
18	—	0,0333565

Tabelul 4

alorile alungirilor specifice datorate temperaturii şi şocului rmic pentru regimurile tranzitorii de proiect la GA nuclear pe partea de apă de alimentare.

Regim tranzitoriu	ε_v^θ	$\varepsilon_{şoc}^\theta$
1A	0,0539461	0,1105075
1B	0,0539500	0,0480322
3	—	0,0555315
4	—	0,0565286
7	—	0,0699790
8	—	0,2916109
10	—	0,0559171

u obţinerea numărului maxim admisibil de cluri aferente fiecărui regim tranzitoriu în ırte. Pe baza numărului de cicluri maxim lmisibil astfel determinat se poate calcula roporţia consumată din durata de viaţă utilă materialului mantalei GA, reprezentată prin portul n/N [10].

ıncluzii

Alegerea regimurilor pentru care alungirea ecifică termică se calculează cu formule du-nd la $\varepsilon_{şoc}^\theta$ sau ε_v^θ s-a făcut pe baza coeficientu-i adimensional de timp τ, definit de formula 3) şi figura 3, care prezintă variaţia raportu-i eforturilor unitare termice normale şi de c la interiorul şi exteriorul peretelui cilindric nsiderat. Din această diagramă se observă că, ıpă un anumit timp, efectul şocului termic dis-re. În cazul de faţă s-a considerat că un e-rt de şoc termic cu o mărime de 20% faţă de e-rtul termic nominal reprezintă limita inferioară luării în considerare a unui efort unitar de şoc termic. La aceste valori, timpul adimensional este cuprins între 0,6 şi 0,8 τ, valori care pentru ştuţurile GA considerat corespund la durate de regimuri tranzitorii cuprinse între 40—52 minute. Cu alte cuvinte, regimurile tranzitorii cu timpul de desfăşurare mai mic de 40 minute au fost considerate regimuri tranzitorii de şoc, lăsînd ca singure regimuri cvasistaţionare regimurile de încălzire de la temperatura ambiantă la 8% sarcină şi de răcire de la 8% sarcină la temperatura ambiantă, atît pe partea de abur cît şi pe partea de apă de alimentare.

Constatarea generală este aceea că şocul termic conduce la alungiri specifice $\varepsilon_{şoc}^\theta$ suficient de mici, deci la un număr mare de cicluri posibile. Situaţiile puternic defavorabile s-ar putea datora numai unor diferenţe deosebit de mari de temperatură conform relaţiei (10), în genere peste 50°C, care nu pot apărea în cazurile descrise de regimurile tranzitorii luate în considerare. Aceasta rezultă şi din tabelele 3 şi 4, în care numai regimul tranzitoriu 16 pe partea de abur (avarierea circuitului de abur al centralei) şi 8 pe partea de apă de alimentare (declanşarea reactorului nuclear) conduc la alungiri specifice mari pentru solicitarea de şoc termic. Dacă alungirea specifică datorită regimurilor tranzitorii de şoc este prelucrată prin intermediul curbei $\varepsilon - N$ şi al raportului n/N/[5], contribuţia acestor regimuri la epuizarea duratei de viaţă este mult mai mare decît aceea corespunzătoare regimurilor tranzitorii cvasistaţionare.

Din cele de mai sus se impune concluzia că, deşi aparent mai puţin importante prin mărimea alungirii specifice pe care o produc, regimurile tranzitorii de şoc sînt totuşi elementul esenţial în determinarea duratei de viaţă a unei instalaţii. De aici şi necesitatea alegerii unor valori riguros respectate ale diferenţelor de temperatură maxim admisibile în cursul şocului termic, de obicei sub 50°C.

Notaţii

a — difuzivitatea termică, m²/s.
c — grosimea materialului plastifiat la marginea găurii, m.
C_{geom} — constantă geometrică, m².
C_M — constantă de material, m⁴.°C/N.s.
E — modulul de elasticitate longitudinal, N/m².
f — factor de diminuare a efortului unitar ideal de şoc termic.
G — modulul de elasticitate transversal, N/m².
n — numărul de cicluri de proiect.
N — numărul de cicluri maxime admisibil.
r — raza găurii, m.
s — grosimea peretelui cilindric, m.
t — timpul, s.
n — raportul diametrelor exterior şi interior ale vasului cilindric.
V_θ — viteza de variaţie a temperaturii, °C/s.
α — coeficientul de dilatare liniară, °C⁻¹.
α_i — coeficientul de schimb de căldură prin convecţie la peretele interior, W/m².°C.
Δ — diferenţă.

$\varepsilon_r, \varepsilon_t, \varepsilon_z$ — alungirile relative corespunzătoare celor trei direcții, %

$\varepsilon^{\theta}_{soc}$ — alungirea relativă datorită șocului termic, %.

ε_r — alungirea redusă, %

ε^{θ}_{v} — alungirea relativă datorită temperaturii, %.

Φ_{ws} — factor de material, N/m².°C.

λ — conductivitatea termică, W/m.°C.

μ — coeficientul lui Poisson.

$\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z$ — eforturile unitare corespunzătoare celor trei direcții, N/m².

σ_{we} — efortul unitar de șoc termic la suprafața exterioară a peretelui cilindric, N/m².

σ_{wi} — efortul unitar de șoc termic la suprafața interioară a peretelui cilindric, N/m².

σ_{ws} — efortul unitar maxim ideal de șoc termic, N/m².

$\bar{\sigma}_{ws}$ — efortul unitar real de șoc termic, N/m².

θ — temperatura, °C.

τ — coeficientul adimensional de timp.

ξ — coeficient global de corecție a comportării materialului în jurul găurii.

Bibliografie

[1] Pop, M.G.M. *Contribuții la studiul influenței pornirilor asupra duratei de viață a generatoarelor de abur.* Teză de doctorat, IPB, Fac. de Mecanică, București, 1976.

[2] Ulrich, E. *Über die Grundlagen der Festigkeitsrechnung in Dampfkessel Behälter und Rohrleitungen unter Berücksichtigung des Fliessverhalten der Verkstoffe.* În: Mitt. der VGB, nr. 79, 1972.

[3] Bezuhov, N. I. *Teoria elasticității și plasticității* Editura tehnică, București, 1957.

[4] Pop, M.G.M. și Tardoș, G. *Zone de material plastifiat în tamburele și colectoarele cazanelor de abur.* În Construcția de mașini, nr. 12. 1972.

[5] Pop, M. G. M., Manea, D., Ursu, E. și Manea N. *Metodă și cod de calcul pentru determinarea influenței regimurilor tranzitorii asupra duratei de viață a generatoarelor de abur din CNE.* În: Energetica, 24, nr. 1976.

[6] Pop, M.G.M., Ursu, E. și Manea, D. *Probabilistic approach to steam generator design life for some transients.* Transactions ANS, 24, p. 359—360, Washington D.C. nov. 1976.

[7] Buessem, W. *The ring test and its application to thermal shock problems.* Metallurgy Group, Office of Air Research. Wright-Patterson Air Force Base, Dayton, Ohio, June, 1950.

[8] Harris, C. *Șocuri și vibrații,* vol. I—II, Editura tehnică, București, 1968.

[9] Pich, R. *Die Berechnung der elastischen, instationären Wärmespannungen in Platten, Hohlzylindern und Hohlkugeln mit quasistationären Temperaturfeldern.* În: Mitt. der VGB, nr. 87, 1964.

[10] * * * *ASME Boiling and Pressure Vessel Code* Section III, 1974 Edition.

(Articol intrat în redacție la 13 mai 19

Contribuții privind dinamica mișcării conductoarelor LEA cauzată de vînt, cu direcție predominantă în lungul liniilor

Ing. I. Gheorghiu *)

Pentru a clarifica mișcarea conductoarelor produsă de vînt, s-au ținut sub observație permanentă patru linii de 110 kV o perioadă de zece ani.

Din observațiile făcute de personalul de exploatare a rezultat că un număr important de defecte se produc pe liniile de 110 kV cînd vîntul bate în rafale pe direcția axului liniilor sau la unghiuri relativ mici față de ax.

În vederea explicării acestui fenomen, să considerăm că în anumite panouri cu deschideri relativ mari, vîntul este capabil să imprime o primă mișcare conductorului.

Existența unor viteze ale vîntului capabil să miște conductorul arată că în porțiunea considerată poate să apară o mică deplasare a conductorului.

Deoarece tensiunea în conductor este aceeași în orice punct, rezultă că la capetele unui element l de masă m, care s-a mișcat vor acționa două forțe egale și de sens contrar (fig. 1).

*) Ing. Ioan Gheorghiu este directorul IRE Bacău.

Direcțiile forțelor fiind tangente, determi în aceste condiții, împreună cu greutatea condu torului, o rezultantă unică pe direcția O

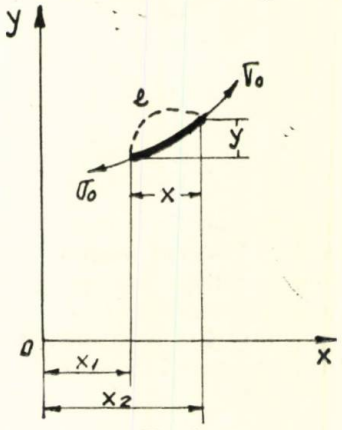


Fig. 1.

care tinde să readucă conductorul în poziția echilibru. Mărimea acestei rezultante, notată F_Y, este o funcție de tensiunea în conducto greutate în intervalul considerat:

$$F_Y = f(\sigma_0, G)$$

Considerînd că elementul l de masă m deplasat sub influența forței exterioare a v tului într-un spațiu definit, se poate s ecuația de mișcare aplicînd legile lui Newt

$$m \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = F_Y$$

Sub acţiunea acestei forţe, revenirea nu se face cu trecere deodată în poziţia de echilibru; conductorul în intervalul considerat se mişcă sub forma unei oscilaţii armonice, astfel încît:

$$F_Y = -K \cdot Y,$$

în care

K este o mărime care se poate determina din expresia acceleraţiei şi are valoarea $m \cdot \omega_0^2$;

Y — deplasarea în intervalul considerat.

Înlocuind valoarea $F_Y = -K.Y$, ecuaţia mişcării devine:

$$m \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = -K \cdot Y$$

Dacă din exterior intervine vîntul în rafale, sub forma unei presiuni depinzînd de timp în diferite moduri, se poate presupune unul dintre aceste moduri ca o forţă exterioară oscilantă de forma:

$$F_{(t)} = F_0 \cdot \cos \omega t.$$

Ecuaţia de mişcare în acest caz este:

$$m \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = -k \cdot Y + F(t)$$

Această ecuaţie dă o soluţie particulară:

$$Y = C \cdot \cos \omega t$$

Din determinarea constantei C rezultă că, împingînd sau trăgînd conductorul de masă m în zona considerată, aceasta se va deplasa în ritm cu forţa.

Pentru aceasta să determinăm constanta C din ecuaţia mişcării prin derivarea lui Y:

$$-m \cdot C \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t = -K \cdot C \cdot \cos \omega t + F_0 \cos \omega t;$$

înlocuind $K = m \cdot \omega_0^2$, vom avea:

$$-m \cdot C \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t = m\omega_0^2 \cdot C + F_0$$

$$C = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

În această relaţie s-a notat:

ω_0 — frecvenţa naturală a oscilaţiilor armonice;

ω — frecvenţa forţei oscilante care intervine din exterior.

Pe baza acestor relaţii, studiind mişcarea, se observă că masa m a elementului considerat se mişcă cu aceeaşi frecvenţă cu forţa, dar cu o amplitudine care depinde de frecvenţa forţei.

Din toate condiţiile rezultante ale mişcării se reţin trei cazuri care interesează cel mai mult;

— Dacă $\omega \ll \omega_0$, valoarea constantei C este pozitivă şi deci deplasarea şi forţa au acelaşi sens.

— Dacă $\omega \gg \omega_0$, constanta C este negativă, ceea ce înseamnă că avem de-a face cu oscilaţii foarte rapide.

— Dacă ω se apropie de ω_0, deci dacă frecvenţa forţei exterioare va fi în ritm cu frecvenţa naturală, se obţine o deplasare foarte mare a conductorului în porţiunea considerată.

Mărimea deplasărilor în unele cazuri ajunge, în zonele de străpungere, sub forma unor balansuri ale conductorului. Pe de altă parte, fenomenul nu este static, ceea ce face ca aceste deplasări mici sau mari să se transmită de-a lungul conductorului, formînd unde staţionare. Propagarea făcîndu-se pe direcţia OX şi cunoscînd că potenţialul de viteză este funcţie numai de x şi t, ecuaţia de propagare este:

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = V_t^2 \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2},$$

în care $V_t = \sqrt{\frac{\sigma_0}{\rho}}$ este viteza de propagare transversală.

Funcţiile care satisfac această ecuaţie au forma:

$$Y = F_1(Y - V_t \cdot t) + F_2(Y + V_t \cdot t).$$

Unda $F_1(Y - V_t\ t)$ este undă directă.

Unda $F_2(Y + V_t \cdot t)$ este undă indirectă.

După cum se ştie din literatura de specialitate, suprapunerea celor două unde dă o undă staţionară cu noduri şi ventre, care, aşa cum s-a arătat prin mişcarea conductorului, conduce la apropieri inadmisibile şi deci la scurtcircuite între faze. Pentru determinarea vitezei vîntului capabile să imprime mişcarea conductorului în anumite porţiuni, se va calcula distribuţia forţei vîntului pe conductor într-un interval oarecare dintr-o deschidere.

Cunoscînd că forma curbei pe care o ia conductorul într-o deschidere este $Y = \text{ach} \frac{X}{a}$,

rezultă distribuţia forţei vîntului într-un interval oarecare (X_2-X_1) o funcţie de forma:

$$P_V = g \cdot a \cdot \ln \frac{\operatorname{sh} \cdot \frac{X_2}{a}}{\operatorname{sh} \cdot \frac{X_1}{a}}$$

Cu ajutorul acestei relaţii se poate determina viteza vîntului capabilă să imprime o primă mişcare conductorului într-un interval oarecare în deschiderea considerată, folosind expresia:

$$V = \sqrt{\frac{16 \cdot P_V}{\alpha K \cdot S}},$$

în care

α este coeficient de neuniformitate al vitezei vîntului;

K — coeficient aerodinamic;

S — suprafaţa pe care se exercită presiunea vîntului, m².

Pentru determinarea distribuţiei forţei vîntului şi vitezei vîntului capabile să imprime conductorului o primă mişcare într-un interval oarecare (x_2-x_1), s-a folosit un algoritm de calcul, redat în figura 2.

Datele rezumative rezultate din calcul sînt prezentate în tabelul 1.

Sinteza datelor de calcul:

g_i — greutatea conductorului pentru secţiunea i, kgf/m;

d_i — diametrul conductorului pentru secţiunea i, m/m;

l_j — elementul din conductor, m;

$S = l_j \cdot d_i \sin \varphi_n$ — suprafaţa pe care bate vîntul, proiecţia pe axa ordonatelor, m²;

x_2, x_1 — mărimi variabile pe axa absciselor, m;

$x = l_j \cdot \cos \varphi_n$ — intervalul de calcul al forţei vîntului, proiecţia pe axa absciselor, m;

φ_n — unghiul dintre orizontală şi tangenta la curbă în intervalul considerat;

β_n — unghiul dintre verticală şi poziţia conductorului în apropierea punctului de legătură — la izolator;

$n = 1 \div 90°$ — variaţia unghiurilor φ_n, β_n;

d_0 — deschiderea între doi stîlpi, m;

$x_2 = \frac{d_0}{2}$, m;

a — distanţa de la sol la săgeata maximă, m.

Din analiza rezultatelor obţinute prin calculul privind distribuţia forţei şi vitezei vîntulu

Schema logică a algoritmului

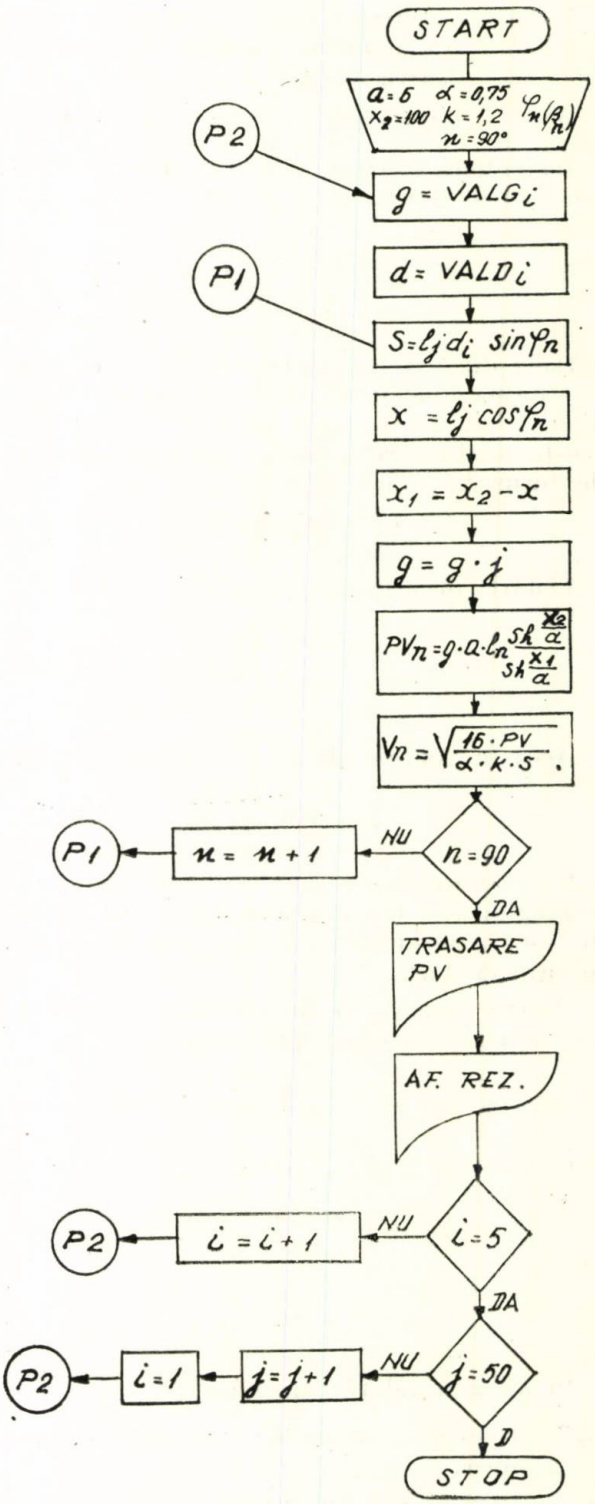


Fig. 2.

Tabel rezumativ al determinărilor forței P_V și vitezei V a vîntului pentru diferite secțiuni și săgeți ale conductorului

	Unghiul de calcul φ	φ_1 45°	φ_2 40°	φ_3 35°	φ_4 30°	φ_1 45°	φ_2 40°	φ_3 35°	φ_4 30°	φ_1 45°	φ_2 40°	φ_3 35°	φ_4 30°
s_1 150	P_V	0,3167	0,3667	0,4076	0,445	1,267	1,464	1,626	1,791	2,850	3,266	3,66	4,01
	V	19,45	21,45	23,35	25,51	27,51	30,31	33,03	36,08	33,50	36,75	40,22	43,84
s_2 185	P_V	0,380	0,440	0,487	0,535	1,520	1,757	1,951	2,149	3,419	3,919	4,391	4,815
	V	20,22	22,30	24,28	26,52	28,60	31,51	34,34	37,51	35,03	38,43	42,06	45,84
s_3 240	P_V	0,485	0,562	0,623	0,683	1,942	2,244	2,493	2,745	4,36	5,00	5,61	6,15
	V	21,55	23,76	25,88	28,26	30,48	33,58	36,6	39,9	37,33	40,95	44,82	48,86
s_4 300	P_V	0,604	0,699	0,775	0,850	2,41	2,79	3,10	3,41	5,43	6,22	6,97	7,65
	V	22,71	25,04	27,27	29,78	32,12	35,39	38,5	42,12	39,34	43,15	47,23	51,48
s_5 400	P_V	0,863	0,999	1,168	1,215	3,45	3,99	4,43	4,88	7,76	8,90	9,97	10,93
	V	25,018	27,58	30,03	32,81	35,38	38,98	42,48	46,40	43,33	47,53	52,04	56,7
Secțiunea cond.	Interval de calcul	l_1				$l_1 + l_2$				$l_1 + l_2 + l_3$			

	Secțiunea cond. / Unghi β	s_1 150		s_2 185		s_3 240		s_4 300	
		P_V	V	P_V	V	P_V	V	P_V	V
f_1	45°	0,445	25,5	0,53	26,5	0,68	28,26	0,85	29,78
f_2	40°	0,407	23,35	0,48	24,3	0,62	25,9	0,77	27,3
f_3	35°	0,366	21,45	0,44	22,3	0,56	23,76	0,7	25,04
f_4	30°	0,316	19,43	0,38	20,22	0,48	21,55	0,6	22,7
ăgeată / interval		l_1							

apabile să imprime mișcarea conductorului ezultă următoarele concluzii:

— Există porțiuni din conductor relativ ici pe care conductorul poate fi mișcat de vînt rafale cu viteze mai mici decît cele luate în alculul de dimensionare a liniilor.

— Diagrama variației forței vîntului pe onductor (fig. 3) scoate în evidență valori ale rței vîntului, P_V, sub cele de calcul, P_{Vc}, pe onductoare de secțiuni mai mici de 300 mm². onductoarele afectate pe porțiuni mai mari sînt le de secțiuni 150 și 185 mm² (curbele s_1, s_2).

— În cazul deschiderilor mari, săgețile cresc, nghiul β scade, ceea ce furnizează condițiile mișcare a coductorului la vînt, prin creșterea suprafețelor de distribuție a forței vîntului capabile să imprime o primă mișcare și prin mărirea intervalului pe care este posibil să înceapă mișcarea.

Curba s_1' din figura 3 arată că, scăzînd unghiul β, scade forța vîntului capabil să miște conductorul, mișcarea avînd cele mai bune condiții să înceapă de la legătura cu izolatorul sau din imediata vecinătate a acesteia.

— În interiorul deschiderilor, de la punctul de săgeată maximă și pînă la legătura la lanțul de izolatoare, există zone relativ mici din conductor cu φ cuprins între 30 și 45°, în care vîn-

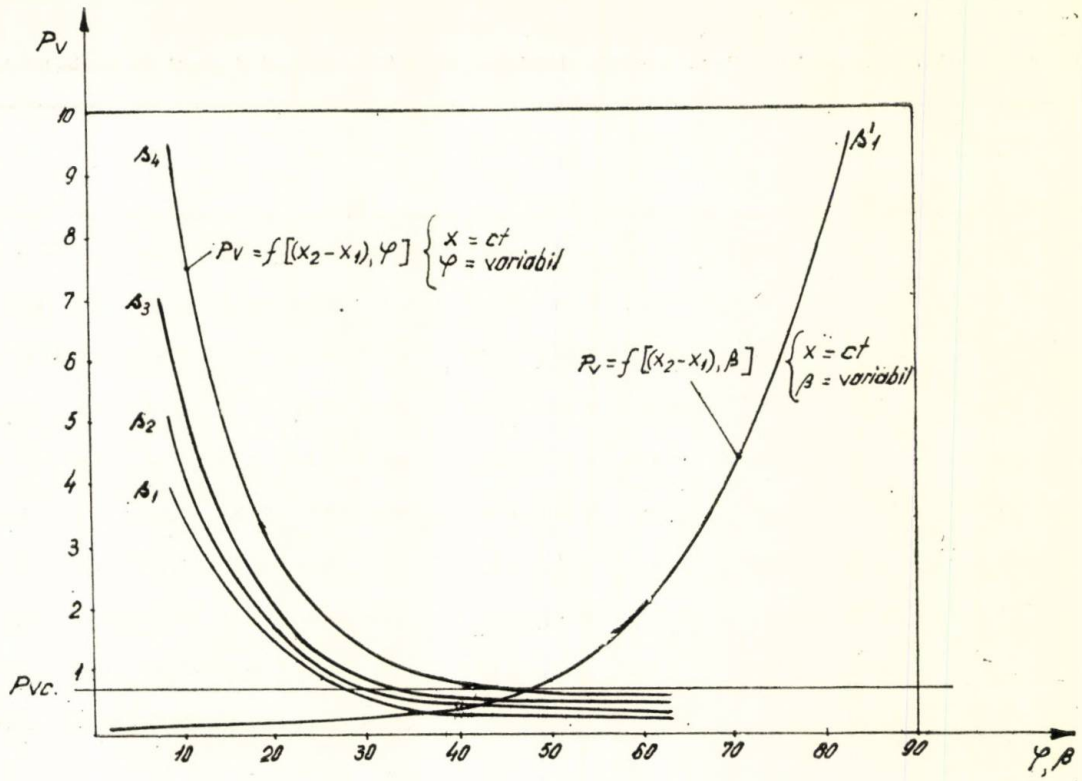


Fig. 3.

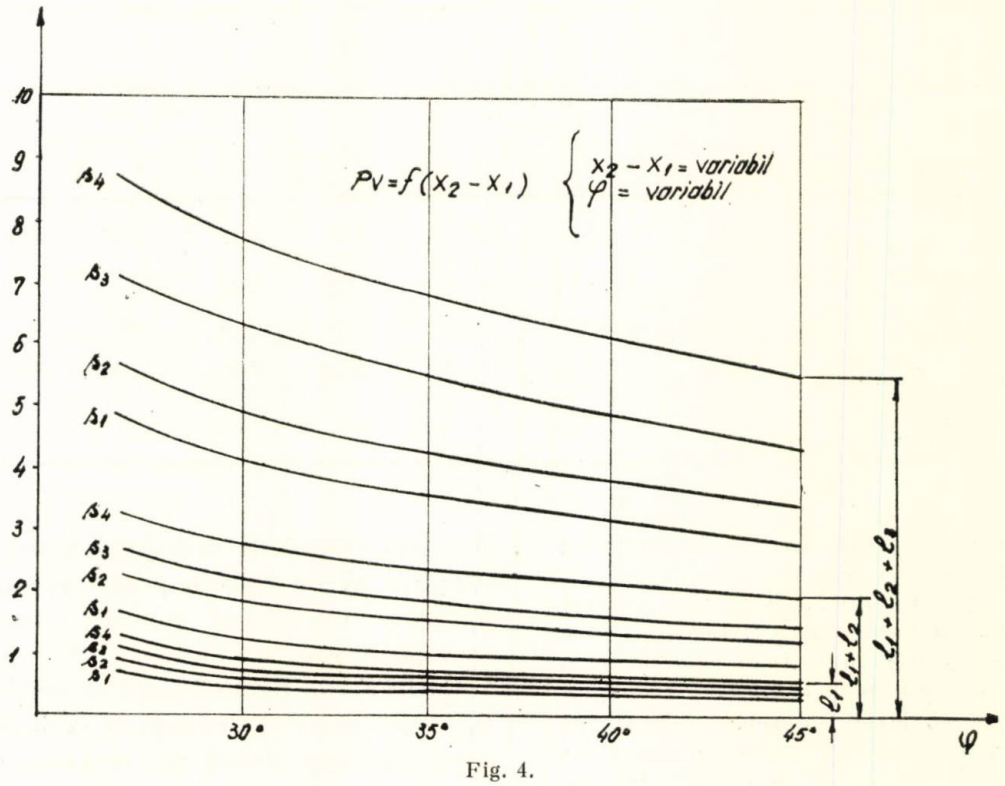


Fig. 4.

tul de intensităţi relativ mari poate mişca conductorul. Aceasta rezultă din diagramele de variaţie a distribuţiei forţei vîntului redate în figurile 3 şi 4, curbele s_1, s_2, s_3, s_4.

Notă

Expresia distribuţiei forţei vîntului P_v şi vitezei vîntului, V — folosite în calcul — au fost determinate în articolul „Comportarea în exploatare a reţelelor de 110 kV din IRE Bacău", publicat în nr. 4, 1968, al revistei „Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice".

conomie de energie prin repartiția idicioasă a fluxului luminos

Dr. ing. **O. Stavrescu**
și ing. **C. Dinulescu***

Dilema dintre iluminatul general uniform al ui spațiu dat și iluminatul local al locurilor muncă a preocupat adeseori lumea specia-tilor.

Iluminatul general, care îndeplinește optim ndițiile fiziologice și psihologice pentru vizi-litate fără obosirea ochilor, este evident mai stisitor, din cauza iluminării unui spațiu mult mai mare. Iluminatul local, însă, intro-ce zone întinse de întuneric, care produc obo-rea ochilor și accidente.

Soluția intermediară — iluminat neuniform, r existent pe întregul plan de utilizare îndeplinește ambele cerințe, de calitate și onomicitate. El se poate obține fie printr-un minat combinat, compus din două instalații uminat general uniform + iluminat local), fie intr-o singură instalație, de iluminat general uniform, zis și „localizat" sau „zonat".

Pentru cazul obișnuit, al spațiilor cu locuri muncă numeroase, distribuite uniform pe anul util și necesitînd aceleași iluminări, s-a ovedit de mult că o singură instalație de ilu-inat general uniform este soluția cea mai onomică.

În cazul spațiilor cu locuri de muncă rare, stribuite neuniform și/sau necesitînd nivele de minare diferite, soluția iluminatului neuni-rm fiind optimă tehnico-economic, este din în ce mai recomandată de literatura de spe-alitate și impusă de norme.

Iluminatul neuniform se poate obține dife-nțiind pe întinsul planului util următorii rametri: densitatea de amplasare a surselor minoase, puterea lor, orientarea surselor sau stribuția fluxului luminos emis de acestea. În articolul de față se analizează unele reali-ri recente din acest domeniu, în interiorul clă-rilor și în exterior, avantajele tehnice, eco-miile de energie și de costuri ce se obțin in astfel de soluții.

Iluminat interior neuniform

1. *Iluminatul pentru scris-citit (școli, birouri-oiectare)*

În interiorul clădirilor, iluminatul neuni-rm a fost preconizat prima oară pentru mun-intelectuală. Încă imediat după răspîndirea mpilor fluorescente tubulare, s-a recomandat instalarea lor în birouri sub formă de benzi (fîșii) luminoase deasupra ferestrelor [1], ca o replică la sistemul de iluminat uniform cu plafon luminos complet, considerat ca soluția ideală [2].

Sistemul benzilor luminoase paralele cu ferestrele s-a răspîndit de atunci în diferite țări [4], [6], [8], [10], [11], ca și în țara noastră [3], [5], datorită economicității lui și avantajului ce-l oferă, creînd condițiile optime de vizibilitate la scris : lumină din stînga. El a trecut în recomandările oficiale [7] și a fost aplicat în marile clădiri de birouri-proiectare din străinătate (Philips ș.a.) și de la noi [9].

Plafoanele luminoase complete, care s-au dovedit foarte costisitoare, s-au menținut numai acolo unde au fost integrate cu instalațiile de încălzire-condiționare, recuperînd astfel o mare parte din căldura emisă de lămpi, respectiv din energia consumată de iluminat [12], [13].

1.1.1. *Iluminat neuniform, prin reglarea densității și a puterii surselor.* Procedeul cel mai simplu de realizare a iluminatului neuniform este prin îndesirea amplasamentelor surselor luminoase în locurile importante ale planului util. Pentru o încăpere de birouri, montînd benzile luminoase ca în figura 1, se poate obține un nivel de iluminare maxim lîngă ferestre (linia punctelor P_1, P_3), care scade treptat, pe măsura îndepărtării de ferestre, spre peretele

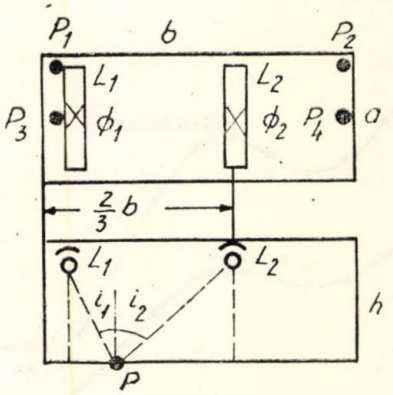


Fig. 1.

opus (linia punctelor P_2, P_4). O astfel de scădere este similară celei a luminii naturale prin ferestre [14], așa cum se arată în figura 2.

În figura 3 sînt arătate curbele reprezentînd variația nivelului de iluminare cu depărtarea d de la fereastră, de-a lungul unei linii laterale P_1P_2 (curbele $E'_d + E_i$) și a unei linii centrale P_3P_4 (curbele $E''_d + E$) de pe planul de utilizare. Se constată că pentru camere mari (de exemplu C_{11}) iluminările sînt maxime sub fîșiile luminoase, iar în camerele mici (C_{01}), între fîșii. Fiecare curbă reprezintă iluminarea totală din punctele respective, formată prin însumarea componentei directe E_d cu componenta indirectă E_i.

* Dr. ing. Octav Stavrescu este responsabil cu economia minatului în Comitetul național român de iluminat ; ing. zar Dinulescu este cercetător științific principal la EMENERG.

Curbele se determină printr-o metodă compusă în care componenta directă se calculează prin metoda punct cu punct, cu formula :

$$E_{dPk} = \frac{I_\alpha}{2H}\left(\frac{LH}{L^2+H^2} + \text{arctg}\,\frac{L}{H}\right)\cos^n \alpha, \quad (1)$$

iar componenta reflectată, cu ajutorul formulei :

$$E_i = \frac{u\,\rho_m\,\Phi'}{kS_p[1-(1-u)\rho_m]}, \quad (2)$$

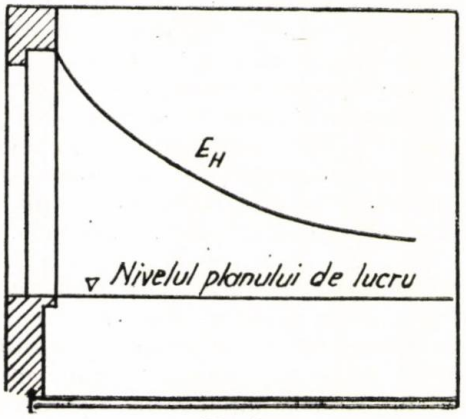


Fig. 2.

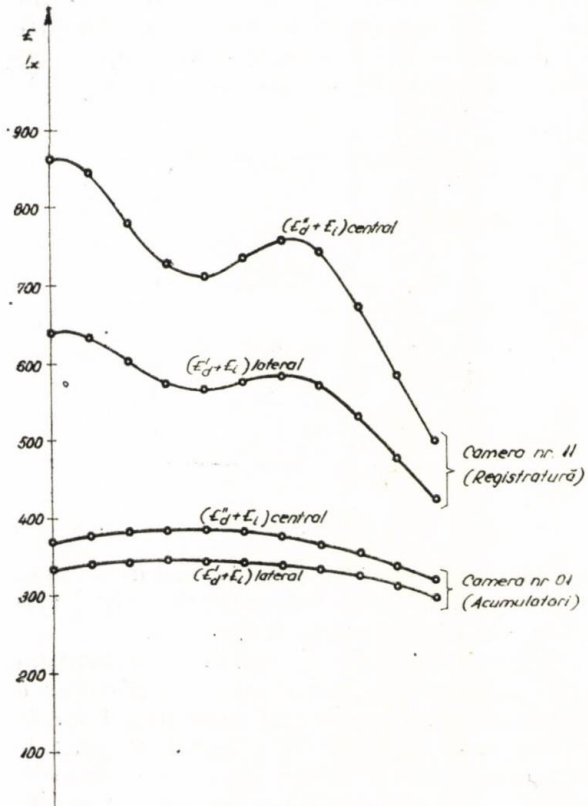


Fig. 3. Calculul iluminatului indirect.
Varianta I. Iluminat difuz (cu corpuri CM—CGA)
Variația iluminării orizontale totale (de la ambele șiruri luminoase).
E' — iluminarea pe linia P_1P_2 de la marginea pardoselii; E'' — iluminarea pe linia P_3P_4 de la mijlocul pardoselii.

în care

n este indicele de deschidere a reflectorului corpurilor de iluminat;

I_α — intensitatea luminoasă a sursei în direcția α;

L, H — lungimea fișiei luminoase și înălțimea sa de la planul util;

u — factor de utilizare a planului util S_p în raport cu suprafețele reflectante S_r, determinat prin raportul $u = S_p : S_r$;

ρ_m — factorul de reflexie mediu pentru tavan și pereți;

k — factorul de depreciere al instalației.

În fiecare punct P_k se însumează iluminările directe produse de cele două fișii luminoase rezultînd componenta directă :

$$E_{dPk} = E_{d1} + E_{d2},$$

la care se adaugă componenta indirectă, rezultînd iluminarea totală :

$$E_{Pk} = E_{dPk} + E_i.$$

1.1.2. *Iluminat neuniform prin reglarea orientării surselor.* Dirijarea fluxului luminos emis de surse, spre porțiunile mai importante (cu activitate) ale planului util, creează o iluminare mai intensă a acestora. În cazul benzilor luminoase din figura 1, fluxul luminos a fost dirijat prin înclinarea (rotirea) corpurilor de iluminat în jurul axei lor longitudinale; astfel s-a realizat [15] o reglare a curbelor de iluminare, ca în figura 3, care se apropie de forma curbei naturale din figura 2.

Înclinînd corpurile de iluminat ale fișiei din interior (Φ_2) ca în figura 4, s-au obținut curbele

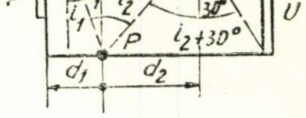


Fig. 4.

de iluminare din figura 5, iar din înclinarea corpurilor fișiei de la fereastră (Φ_1) (fig. 6) au rezultat curbele din figura 7.

Din studierea acestor curbe se observă că înclinarea corpurilor fișiei interioare produce în cazul încăperilor mici (cu distanța b mică între fereastră și ușa opusă), o aplatisare a curbei de iluminare (fig. 5), care trece din categoria „lumină din stînga" (curba E_{HP1}) în categoria „nivel de iluminare constant" (curba E_{HP2})

Graficul din partea de jos a figurii 5 explică acest fenomen cu ajutorul curbelor fotometrice.

Înclinarea corpurilor din fîșia luminoasă de la fereastră produce, în încăperile mari, o umplere a golului curbei, și curba iluminări-

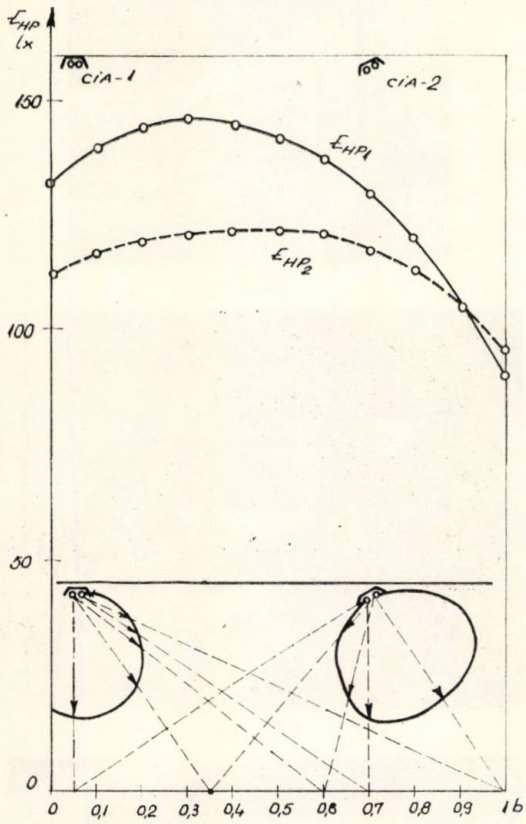


Fig. 5. Iluminatul interior indirect. Optimizarea curbelor de iluminare. Încăperi scurte.

Varianta 3. Corpuri CIA cu repartiție largă. Șirul luminos Φ_2 înclinat cu 30°. Camera nr. 1 — Șirul de puncte lateral. Curba fotometrică idealizată.

E_{HP_2} — de la ambele fișii cu fișia CIA—2 înclinată; E_{HP_1} — de la ambele fișii neînclinate.

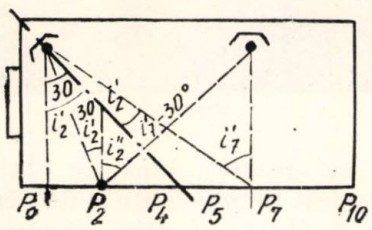


Fig. 6.

lor (curba 3 din fig. 7) se apropie de curba luminatului natural, luînd forma curbei 2. Aceste curbe pot fi ameliorate încă, mărind unghiul de înclinare peste 30° sau înclinînd corpurile ambelor fișii.

Un alt sistem de reglare a nivelului de iluminare pe planul util, realizat recent [16], folosește atît variația densității corpurilor de iluminat pe plafon, cît și a orientării lor. Corpurile cu tuburi fluorescente sînt montate pe șine fixate de plafon, ca în figura 8. Instalația prezintă o flexibilitate maximă și poate fi adaptată la orice modificare ulterioară în amplasarea birourilor din sala respectivă.

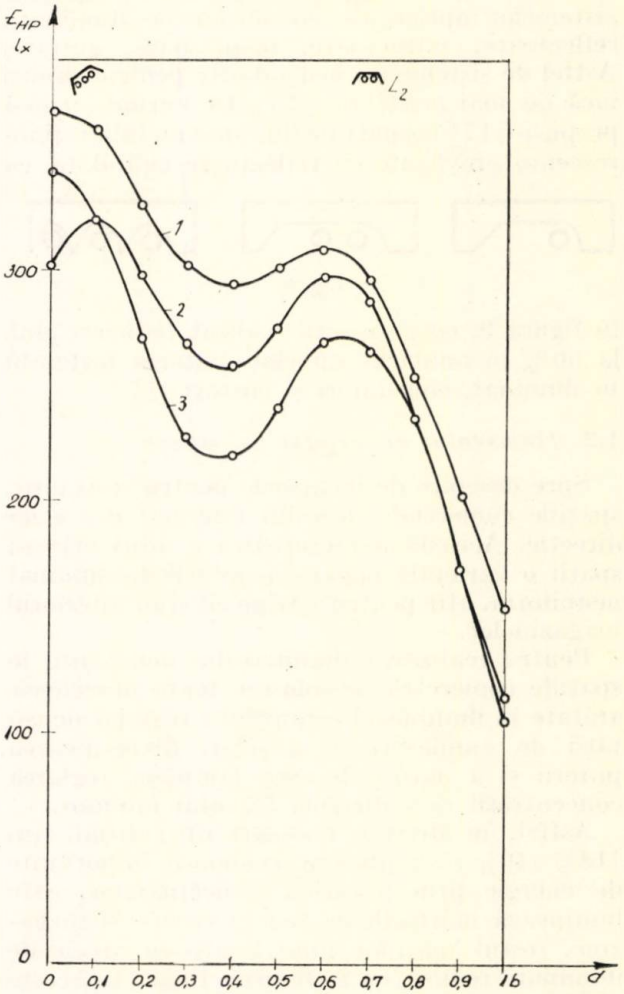


Fig. 7. Calculul iluminatului indirect. Optimizarea curbelor cu două maxime (camere adînci).

Varianta 3 (CIA 240, fără grătar, cu repartiție largă, curba idealizată). Înclinarea fișiei Φ_1 cu 30° spre interior. Camera nr. 11 (Registratura). Șirul de puncte lateral. Calculul normal. Comparație cu varianta I (CGA) și II (CIA) neînclinate.

$E_{HP\ CIA_i}$ — iluminarea dată de două fișii CIA cu prima înclinată; $E_{HP\,CGA}$ — iluminarea dată de două șiruri CGA; $E_{HP\,CIA}$ — iluminarea dată de două șiruri CIA neînclinate.

Fig. 8.

1.1.3. *Iluminat neuniform, prin reglarea distribuției fluxului luminos.* În acest procedeu, fluxul emis de lămpi este concentrat și dirijat spre zonele active ale planului util cu ajutorul sistemelor optice ale corpurilor de iluminat: reflectoare, refractoare, dispersoare, grătare. Astfel de sisteme au fost folosite pentru birouri încă de mai mulți ani [13]. De curînd au fost propuse [17] corpuri de iluminat cu tuburi fluorescente prevăzute cu reflectoare oglindate, ca

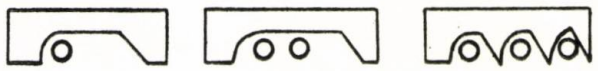


Fig. 9.

în figura 9, cu care s-au realizat reduceri pînă la 50% în numărul surselor, puterea instalată în iluminat, consumuri și costuri [17].

1.2. *Iluminatul neuniform în comerț*

Spre desebire de încăperile pentru scris-citit, spațiile comerciale necesită iluminat din orice direcție. Această caracteristică a adus acestor spații o varietate bogată în soluții de iluminat neuniform, atît pentru vitrine cît și în interiorul magazinelor.

Pentru realizarea iluminatului neuniform în spațiile comerciale se folosesc toate procedeele arătate la iluminatul birourilor: reglajul densității de amplasare a surselor, diversificarea puterii și a naturii luminii lămpilor, reglarea concentrării și a dirijării fluxului luminos.

Astfel, în diverse realizări din ultimii ani [18], [19], s-au obținut economii importante de energie prin folosirea proiectoarelor, care luminează mărfurile expuse în vitrine și magazine, restul spațiilor fiind lăsate cu nivele de iluminare reduse, ca în figurile 10 și 11. Aceste

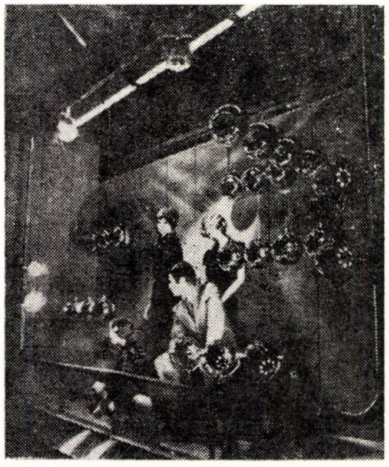


Fig. 10.

sisteme au eficiență maximă la magazine mici și mijlocii (fig. 12): totuși s-au aplicat și la supermagazine (fig. 13). În vitrine se folosește de asemenea și iluminatul local.

Iluminatul neuniform satisface, pe de o parte, cerințele de lumină necesare procesului

Fig. 11.

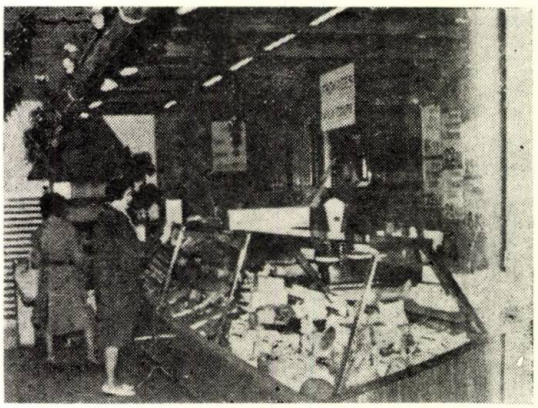


Fig. 12.

Fig. 13.

tehnologic de vînzare-cumpărare [20] și realizează în același timp condițiile de reducere a consumului de energie electrică impuse de prescripții [21].

1.3. *Iluminatul neuniform în locuințe*

Cerințele de iluminat ale spațiilor din locuințe sînt dintre cele mai diversificate, datorită instabilității în timp și spațiu a locurilor de activitate și de odihnă, diversității pretențiilor între indivizi, precum și altor numeroase cauze.

Această situație creează dificultăți serioase fixării unor norme precise privind caracteristicile iluminatului din aceste încăperi. Greutățile sînt amplificate și de sistemul comun de conto-

zare a iluminatului cu celelalte aparate de ilizări casnice (încălzit etc.) al căror consum, comparabil mai ridicat decît iluminatul, anuază de obicei orice economii realizate cu mari crificii prin reducerea iluminatului.

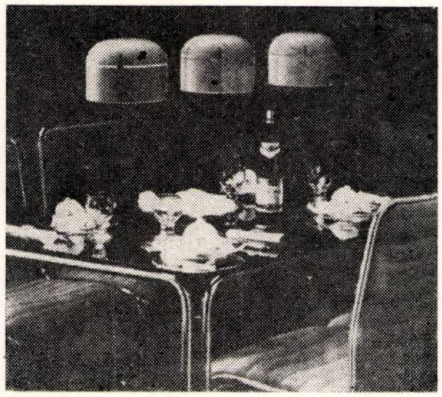


Fig. 14.

Totuși, pentru introducerea raționalizării și iluminatul electric, s-a propus recent și în est domeniu introducerea și extinderea iluinatului neuniform. În figura 14 este ilustrată

traficului circulației auto, nu este posibilă vizibilitatea pe timpul mersului în viteză, ceea ce ar produce accidente de circulație.

Pe lîngă acest iluminat uniform, în ultimul timp s-a introdus treptat și iluminatul neuniform la marile noduri de circulație și la intersecțiile rutiere complexe.

Sistemul este necesar în astfel de cazuri pentru a se diferenția iluminatul mai intens al suprafețelor carosabile principale, de iluminatul mai slab al restului intersecției — căi secundare, bucle, bretele, spații verzi. Aceste diferențieri se obțin printr-un reglaj mixt : al densității de amplasare a surselor (distanța dintre stîlpi), al puterii surselor montate pe stîlpi, precum și prin dirijarea fluxului lămpilor.

Instalații de acest fel s-au realizat în ultimul timp în străinătate [24]... [28] și în țară [29], demonstrînd prin eficacitatea lor că pot realiza economii importante de energie și investiții față de soluțiile clasice. În figura 15 este reprezentată soluția de la nodul de circulație „N" din Cluj-Napoca.

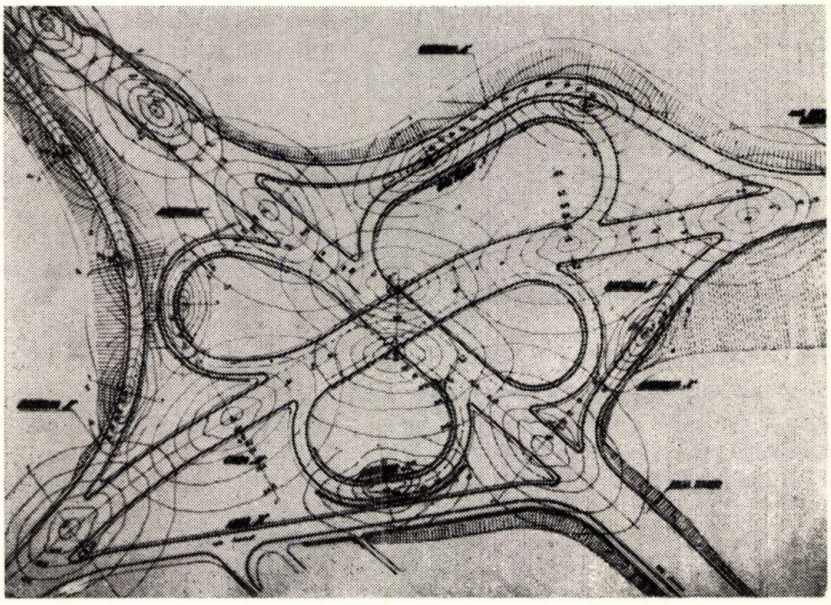


Fig. 15.

na dintre soluțiile arhitecturale moderne de uminat mai intens la masa din sufragerie ; tfel de soluții sînt propuse și pentru alte zone n locuință [22], [23].

Iluminat neuniform în exterior

Prima condiție a iluminatului căilor de circuție publică este respectarea unui anumit grad uniformitate a iluminării în lungul căii. ără această condiție, impusă de necesitățile

Concluzii

Iluminatul electric neuniform reprezintă o soluție de optimizare tehnico-economică deosebit de eficientă, prin care se satisfac cerințele unui iluminat bun în locurile importante ale planului de lucru și se realizează simultan economii însemnate de energie și investiții în zonele secundare ale acestuia. El este recomandat tot mai frecvent de literatura de specialitate și de norme.

Soluţiile de iluminat neuniform, interior sau exterior, urmăresc o repartiţie judicioasă a fluxului luminos şi se pot realiza prin diverse tipuri de lămpi, corpuri de iluminat şi prin diferite moduri de montare a acestora în instalaţie.

Bibliografie

[1] Zijl, H. *Manuel de l'éclairagiste.* Dunod, Paris 1956.

[2] Philips. *Lighting Projects.* Philips, Eindhoven, 1958.

[3] Feldman. *Iluminatul birourilor de proiectare.* În: Caiet selectiv Protecţia muncii şi igiena industrială, nr. 3, 1960.

[4] Ströbel, I. *Bürobeleuchtung.* În: Baumeister, nr. 5 1961.

[5] Băilescu, A. şi Savopol, D. *Iluminatul electric* Îndreptar. Editura tehnică, Bucureşti, 1962.

[6] Hütterman. *Beleuchtung von Grossbüros. Kombination von Klimmaanlage und Beleuchtung.* În: Lichttechnik, nr. 4, 1966.

[7] * * * *Normativ pentru proiectarea iluminatului artificial la industrii şi în clădiri social-culturale,* IPCT 1966.

[8] Busch şi Hammer. *Erfahrungen mit Spiegelleuchten in Grossraumbüros.* În: Lichttechnik, nr. 11, 1966.

[9] * * * ISPE. *Sediul ISPE,* Proiect 1967.

[10] Block, R. *The open office re-thought.* În: Light and Lighting and Environmental Design, nr. 4, 1970.

[11] Kleiner. *Beleuchtung eines Konstruktionsbüros.* În: Lichttechnik, nr. 2, 1971.

[12] * * * *„Maillot 2 000" Paris.* Revue Internationale de l'Eclairage, nr. 3, 1974.

[13] * * * ANSI — A 132. *American National Standard Practice for Office Lighting.* În: Journ. of the IES, 3, 1 oct. 1973.

[14] Gusev, N. M. *Iluminatul natural al clădirilor.* Trad. din limba rusă. Editura tehnică, Bucureşti, 1973.

[15] Prisăcaru, V. şi Stavrescu. O. *Optimisati de l'éclairage interieur au moyen des ordinateurs.* 18-è Session CIE, Londra, sept. 1975.

[16] Strübin, H. *Le bureau paysagé „Regent", Bâale.* În Revue Internationale de l'Eclairage, 27, nr. 2, 19

[17] Andernach, H.E. şi Kupsch, E. *Die richt Lichtstärkeverteilung — der Schlüssel zur Wirtscha lichkeit einer Beleuchtungsanlage.* În: L'chttechnik nr. 9, 1977.

[18] Richard W. *L'éclairage des grandes surfaces de ver* În: Travaux Communaux 18, aug.—sept. 1972.

[19] Lars, J. *Le phénomène d'achat. Son corrolaire: lumière.* În: Lux, 82, apr. 1975.

[20] Stavrescu, O. *Utilizarea raţională a iluminatul electric comercal.* Comunicare la Consfătuirea privi raţionalizarea utilizării energiei electrice, CPMB, n 1977.

[21] * * * *Normativ republican privind folosirea raţiona a energiei electrice la iluminatul artificial şi în utilizăr casnice.* PE 136—76.

[22] * * * *Svetotehniceskie izdeliia na vistake „Elektro 77".* În: Svetotehnika, nr. 7, 1977.

[23] Welk, R. *Essen im richtigen Licht. Leuchten für d Essplatz.* În: Lichttechnik, nr. 8, 1977.

[24] Cox, K.T. O. şi Valentine, V. B. *The Worst Braided Interchange.* În: Light and Lighting and E vironmental Design, nr. 7, 1971.

[25] Ketwirtis, A. şi Radauskas, S. G. *Interchan Illumination. Engineering and Economics.* În: Jour of the IES, nr. 2, oct. 1972.

[26] Queré, M. *L'échangeur de la Rose de Cherbourg à Défence.* În: Lux, 75, dec., 1973.

[27] Faucett, R. F. şi Prier, I. P. *Roadway Lighti Design from Extrahigh Mounting Heights.* În: Jour of the IES, nr. 2, 4 iulie 1973.

[28] Adem, R. *L'optimisation énergétique en éclaira public.* În: Lux, 80, dec. 1974.

[29] x x x *Studiu de variante privind iluminatul nodul de circulaţie „N" din Cluj-Napoca.* ICEMENER 1977.

(Articol intrat în redacţie la 6 decembrie 19

tudiu asupra corelaţiei dintre creşterea ıdustrială şi consumul de energie ectrică în industrie

Ing. Fl. Alexe
şi ing. V. Harth*)

Balanţa energetică a majorităţii ţărilor cu dezvoltare industrială medie sau avansată dică o pondere a energiei primare folosită ntru producerea de energie electrică de circa)%. Din producţia totală de energie electrică rca 60% este utilizată în industrie [1], [2]. rocentele de mai sus au valoare orientativă sînt date cu scopul de a fixa cadrul general problemei. Cifrele reale cunosc o variaţie stul de mare de la o ţară la alta şi de la un la altul, în funcţie de condiţiile economice nerale şi de conjunctură.

În condiţiile actualei crize de energie, proema acoperirii consumului de energie elecică în industrie capătă o importanţă deoseită, în special în cazul ţărilor în curs de dezltare, importatoare de combustibil (cazul .S.R). În aceste ţări, necesitatea reducerii calajelor faţă de ţările dezvoltate impune creştere industrială într-un ritm susţinut, timp ce utilizarea raţională a resurselor terne limitate de energie şi economisirea ijloacelor internaţionale de plată fac necerră o reducere a ritmului de creştere a consuului energetic [1], [3], [4].

Este bine cunoscut faptul că între nivel de dezvoltare economică şi consumul de surse energetice al unei economii există o relaţie suficient de strînsă. În mod similar a exista deci o interdependenţă între ritmul creştere a producţiei industriale şi cel de eştere a consumului industrial de energie ectrică.

Liniile directoare ale dezvoltării sociale şi onomice a ţării, trasate prin Directivele ngresului al XI-lea al P.C.R. şi prin Planul dezvoltare suplimentară a economiei naţiole, adoptat de Conferinţa Naţională a P.C.R. n decembrie 1977, indică un puternic dinaism industrial cu scopul de a atinge în 1985 venit naţional de 2400—2500$/locuitor şi . Aceasta înseamnă practic dublarea venitui naţional în următorii şapte ani, obiectiv poate fi realizat numai prin menţinerea unui tm de creştere industrială de peste 11%.

În scopul determinării corelaţiei existente ţara noastră între ritmul creşterii producţiei dustriale globale (p) şi ritmul creşterii consumului industrial de energie electrică (c), s-au utilizat datele statistice pe perioada 1955—1977 (tabelul 1).

Calculînd coeficientul de corelaţie între cele două ritmuri de creştere ρ [5], se obţine valoarea 0,41, ceea ce indică existenţa unei anumite corelaţii, nu însă foarte strînsă. Valoarea relativ scăzută a coeficientului de corelaţie confirmă posibilitatea reală de a menţine un ritm ridicat de creştere industrială chiar în condiţiile micşorării ritmului de creştere a consumului industrial de energie electrică*) [4].

Modelul matematic de tip liniar al corelaţiei dintre cele două ritmuri de creştere, obţinut prin metoda erorii pătratice minime [5], aplicată tabelului de date statistice este:

$$c = 0{,}82\ p + 2{,}3 \qquad (1)$$

Reprezentarea grafică a mărimilor statistice din tabelul 1, precum şi a relaţiei de corelaţie se dă în figura 1.

Modelul matematic astfel obţinut nu îmbracă fenomenul studiat în toată complexitatea lui. Din relaţia matematică obţinută s-ar putea deduce că la o creştere industrială nulă ar fi necesară o creştere a consumului industrial de energie electrică de 2,3%, ceea ce ar greva inutil cheltuielile de producţie.

Ritmurile medii de creştere pe perioada 1955—1976 au fost de 12,3% pentru producţia industrială globală şi 12,9% pentru consumul industrial de energie electrică, ceea ce înseamnă practic un ritm de creştere energetică de 1,05 ori mai mare decît ritmul creşterii industriale, valoarea supraunitară a raportului dintre cele două ritmuri de creştere dezavantajînd creşterea economică globală a ţării**). Amintim că în aproximativ aceeaşi perioadă (1950—1974) acest raport a fost de 0,84 pentru America de Nord şi de 0,92 pentru Europa de vest [1], [3], [4], [6].

Reprezentarea grafică din figura 1 scoate în evidenţă faptul că o serie de puncte (anii 1963—1966) prezintă o abatere pozitivă mare faţă de curba de corelaţie determinată luînd în consideraţie întreg pachetul de date statistice. Se exclud aceste puncte (menţinînd însă acele puncte cu abatere negativă mare care exprimă tendinţa actuală de reducere masivă a ritmului de creştere a consumului de energie electrică). Se exclude de asemenea punctul reprezentînd anul 1977, deoarece valoarea foarte redusă a creşterii consumului de

) Ing. Fl. Alexe este asistent la Institutul politehnic Bucuşti, Facultatea de energetică, Catedra de centrale electrice; g. V. Harth este inginer proiectant la Institutul de studii proiectări energetice (ISPE) — Bucureşti.

*) Rezultatele obţinute în 1977 — o creştere industrială de 12,5% realizată cu o creştere a consumului de energie electrică de numai 2,7% — confirmă practic această posibilitate.

**) Datele ONU pe anul 1976 situează R.S.R. între primele 25 ţări din lume la consumul de energie electrică pe locuitor, deşi din punctul de vedere al venitului naţional pe locuitor ocupă locul 72 [7].

energie electrică în acest an a fost realizată folosind în bună parte posibilitățile de raționalizare existente în economia națională. Este de prevăzut că în viitor ritmul de creștere a

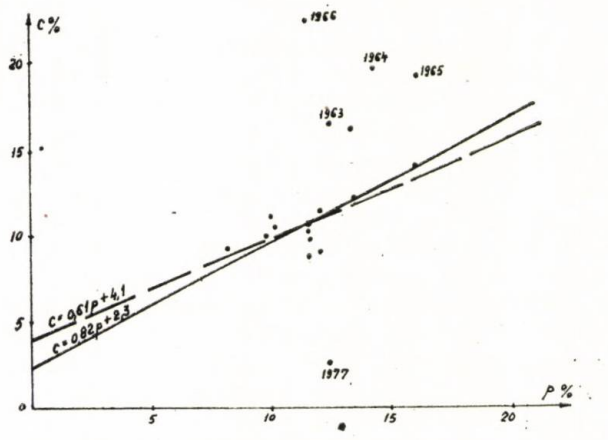


Fig. 1. Corelația dintre ritmul de creștere industrială (p%) și ritmul de creștere a consumului de energie electrică în industrie (c%).

consumului de energie electrică va fi mai mare decît valoarea de 2,7%, fără a mai atinge valorile anterioare anului 1977.

Recalculînd în aceste condiții curba de corelație, se obține un coeficient de corelație de 0,6 și o expresie matematică de forma:

$$c = 0{,}61\ p + 4{,}1 \qquad (2)$$

Se remarcă o mărire a coeficientului de corelație și o coborîre de ansamblu a noii curbe de corelație, aceasta fiind reprezentată punctat în figura 1.

Politica energetică a R.S.R. în perioada ultimilor ani se bazează pe o reducere a consumurilor specifice de energie, ceea ce conduce la micșorarea ritmului de creștere a consumului de energie sub valoarea ritmului de creștere economică [4]. Acest lucru se reflectă și în scăderea ritmului de creștere a consumului de energie electrică, chiar dacă acesta se va menține mai ridicat decît ritmul de creștere a consumului de energie primară*), conducînd la o sporire a ponderii energiei electrice în balanța energetică națională**).

Aceste tendințe de dată recentă nu sînt suficient reflectate în tabelul de date statistice și nici în noua relație de corelație obținută. Corecția acestei relații trebuie făcută prin reducerea termenului liber. Astfel, pentru perioada pînă în anul 1980 relația de corelație trebui să fie de forma:

$$c = 0{,}61\ p + 2{,}6 \qquad (3)$$

iar pentru perioada 1980—1985 ar trebui fie de forma:

$$c = 0{,}61\ p + 0{,}8 \qquad (4)$$

Corecția relației de corelație a celor do ritmuri de creștere ține seama și de tendin de evoluție a consumului absolut de energ electrică (tabelul 2).

Pe baza datelor statistice din tabelul 2 s încercat, într-o primă aproximație, determ narea modelului de evoluție a consumului energie electrică în industrie, utilizînd o expr sie de regresie exponențială. Rezultatele ob nute au condus la o curbă cu o evoluție pr rapidă, ce nu caracterizează tendința ultim lor ani, precum și la o valoare relativ ridica a erorii medii pătratice.

Utilizarea unui model matematic de t parabolic îmbracă mai fidel fenomenul studia conducînd la micșorarea erorii medii pătrati pentru perioada din trecut și la o evoluție m lentă pentru perioada din viitor. Expres matematică determinată pentru consumul i dustrial de energie electrică*) este:

$$C_t = 6231{,}8\ t^2 + 736{,}5\ t + 2330{,}3, \qquad (5)$$

unde $t = \dfrac{\text{anul curent} - 1954}{10}$

În figura 2 s-a reprezentat modul de evoluț a consumului de energie electrică în industri precum și curbele de regresie: curba *1* — regr sia exponențială; curba *2* — regresia parabolic Curba de regresie parabolică conduce la valo ale consumului de energie electrică identi cu cele care se obțin utilizînd relațiile (3) respectiv, (4).

Importanța studierii consumului de energ electrică în industrie rezultă din faptul industria este, în condițiile țării noastre, c mai important consumator de energie electric Ponderea consumului industrial de energ electrică din totalul energiei produse și în co sumul intern global a avut în perioada 1955 1974 evoluția din tabelul 3.

Este de prevăzut că în perioada următoa producția de energie electrică se va suprapu peste consumul intern. De aceea s-a determin curba de regresie a ponderii consumului indu trial de energie electrică (C_k) în consum intern global de energie electrică (C_i).

Utilizîndu-se un model matematic linia se obține următoarea expresie a curbei regresie:

$$y_t = 63{,}4 - 1{,}34\ t, \qquad (6)$$

unde: $y_t = \dfrac{C_k}{C_i}\ \%$; $t = \dfrac{\text{anul curent} - 19}{10}$

*) În 1977 creșterea consumului de energie electrică a fost de 2,7, în timp ce creșterea consumului de energie primară de numai 2,4%.

**) Creșterea ponderii energiei electrice în balanța energetică națională are în ansamblu un efect pozitiv asupra acesteia, datorită randamentului ridicat la transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice, precum și datorită faptului că se poate produce și din resurse inutilizabile în alte domenii (energie hidro, nucleară, combustibil inferior și deșeuri).

*) Un model matematic de tip regresie se poate util numai pentru o prognoză pe termen scurt.

... producției industriale globale (p%) și consumului de energie electrică în industria (c%) R.S.R. în perioada 1955–1977 *Tabelul 1*

Anul	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
p %	13,5	10,4	8	9,9	9,7	16	15,6	13,7	12,3	14,3	16,1	11,4	13,5	11,7	9,1	10	12	11,7	14,6	12	12	11,5	12,5
c %	16	10,2	9	11,1	9,9	14,1	15,4	14,2	16,3	19,6	19,3	22,4	12,1	10,5	13	10,3	11,3	9,6	11,1	9	9	8,9	2,7

Consumul de energie electrică (C_k) în industria națională în perioada 1955–1974 *Tabelul 2*

Anul	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
C_k TWh	2,83	3,12	3,40	3,78	4,15	4,74	5,47	6,25	7,26	8,69	10,4	12,7	14,2	15,7	17,8	19,6	21,9	24,0	26,7	29,1	31,7	34,6	35,5

Ponderea consumului industrial de energie electrică (C_k) în producția de energie electrică (P_k) și în consumul intern global de energie electrică (C_i) *Tabelul 3*

Anul	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
C_i/C_i%	65,7	63,6	62,7	61,3	61,1	61,2	63,4	62,1	60,7	62,7	61,4	63,3	69,7	61,4	61,6	59,9	60,3	59,8	61,7	62,2
C_k/P_k%	65,2	63,3	62,5	61,1	60,9	61,9	63,1	61,9	60,8	62,7	60,2	60,9	57,4	56,5	56,4	55,8	55,5	55,2	57.0	59,2

Se observă o ușoară tendință de scădere a ponderii consumului industrial de energie electrică, ceea ce se explică prin creșterea ponderii altor consumatori (transporturi consum, casnic etc.).

În figura 3 s-a reprezentat evoluția ponderii consumului industrial de energie electrică în consumul intern global și curba de regresie

Fig. 2. Evoluția consumului de energie electrică în industrie (C_k)

Fig. 3. Evoluția ponderii consumului industrial de energie electrică în consumul intern global de energie electrică (C_k/C_i)

determinată. Menținerea acestei tendințe pentru următorii ani va face ca ponderea consumului industrial de energie să nu mai depășească 60%.

Utilizînd relațiile (5) și (6), rezultă pentru anul 1980 un consum industrial de energie electrică de 46,4 TWh și, respectiv, o pondere de 59,9%, ceea ce ar implica o producție de energie electrică de 77,5 TWh (de peste 27 ori mai mult decît în anul 1955).

Importanța scăzută acordată consumurilor de energie în industrie în perioada 1955—1970 (fapt explicabil prin prețul scăzut al combustibilului pe piața mondială, preponderența problemelor de creștere economică asupra problemelor de creștere energetică și previziunile optimiste asupra resurselor naționale de energie) a dus la atingerea unor consumuri specifice mari, care astăzi creează o situație dezavantajoasă din punct de vedere energetic.

Prin măsuri de economisire a energiei și de reducere a consumurilor specifice de energie electrică se poate obține o corelație rațională între ritmul de creștere industrială și ritmul de creștere energetică. Raportul dintre cele două ritmuri trebuie să scadă treptat, ajungîndu-se la o valoare subunitară, inferioară chiar mediei mondiale (astfel, din relația (4), pentru un ritm mediu de creștere a producției globale industriale de 12% rezultă un ritm de creștere energetică de 8,2%, raportul dintre cele două ritmuri fiind de 0,7). Menținerea unui raport de 0,7 pînă în anul 1985 ar asigura înscrierea României printre țările mediu dezvoltate cu cele mai scăzute consumuri de energie electrică pe unitatea de venit național.

Ponderea ridicată a consumului industrial de energie electrică față de alte ramuri de activitate economico-socială indică faptul că principalele metode de economisire a energiei trebuie să se refere la consumul industrial. Pînă în prezent, principalele măsuri de reducere a consumului de energie electrică s-au referit la raționalizarea consumatorilor existenți, îmbunătățirea regimurilor de lucru, eliminarea consumatorilor cu eficiență scăzută etc. Aceste măsuri cu efecte imediate trebuie completate cu măsur vizînd înseși echipamentele de bază și tehnologiile. Astfel, în proiectarea instalațiilor ș alegerea tehnologiilor performanțele energetice trebuie să stea în atenția proiectantului pe același plan cu performanțele tehnologice.

Un important efect pozitiv asupra balanțe energetice naționale îl poate avea creșterea diferențiată a ramurilor industriale, prin scă derea ponderii ramurilor mari consumatoare de energie la minimul necesar. Economisirea unor materiale ca aluminiul, oțeluri speciale unele produse ale industriei chimice, care înglobează în costul lor mari cantități de energie (aluminiul 40%, oțelul 25%), reprezintă o metodă de economisire indirectă a energiei.

Dată fiind complexitatea problemei și a evoluției unora din parametrii luați în considerare, este necesară corectarea la anumite intervale de timp a modelelor de corelație, care să urmărească dinamica economică și energetică.

Asigurarea unei corelații juste între ritmul de creștere industrială și cel al consumului de energie este posibilă și imperios necesară pentru dezvoltarea socio-economică a României.

Bibliografie

[1] Iancu, A. Creșterea economică și resursele naturale. Editura politică, București, 1976.

[2] * * * Anuar statistic al R.S.R. 1955—1975.

[3] Mesarovic, M. și Pestel, E. Omenirea la răspîntie. Editura politică, București, 1975.

[4] Alexe, Fl. Asupra interdependenței între dezvoltarea economică și consumul energetic. În: Energetica 25, nr. 10, 1977.

[5] Rumșiski, L. Z. Prelucrarea matematică a datelor experimentale. Editura tehnică, București, 1974.

[6] Freemont, F. Where would we be without nuclear energy? In: Energy International nr. 10, 1975.

[7] Stănescu, N. S. Direcții de acțiune pentru depășirea stadiului de țară în curs de dezvoltare. În: Era socialistă nr. 1, 1978.

(Articol intrat în redacție la 13 martie 1978

Electrificarea județului Mureș*)

Ing. C. Morțun

Județul Mureș cuprinde două municipii : Tîrgu-Mureș — re-ședința județului — și Sighișoara ; patru orașe : Luduș, Reghin, Sovata și Tîrnăveni ; 91 comune (5 suburbane) și 87 de sate. Rețeaua de ape este formată din rîurile Mureș, Tîrnave și afluenții lor din regiune. Relieful este parțial muntos și deluros, predominînd terasele podișului transilvan. În zona muntoasă și deluroasă sînt păduri întinse ; în rest pășuni și terenuri agricole.

În subsolul județului se găsesc cele mai mari zăcăminte de gaze naturale din țara noastră, a căror exploatare industrială a început încă dinaintea primului război mondial și se continuă și astăzi prin numeroase exploatări. Se mai găsesc, sortimente variate, roci de construcție, nisipuri și argile ale, ape minerale.

În perioada de început a utilizării electricității, industria fost relativ slab dezvoltată, cu excepția industriei chimice la Tîrnăveni — fosta fabrică „Nitrogen" — , unde se pro-ceau îngrășăminte azotoase, carbid etc,: în rest au existat ar cîteva industrii la Tîrgu-Mureș și Sighișoara, mai mult n ramura bunurilor de consum : spirt, zahăr, mobilă, tex-e etc.

Energia electrică apare prima dată în județul Mureș în ul anilor 1890, la Tg. Mureș, unde s-au construit mici cen-le electrice, la fabricile de zahăr, cherestea și spirt.

Tot orașul Tg. Mureș a fost și prima localitate electrificată n județ, în anul 1897, urmat în 1903 de Sighișoara. Cele-e orașe din județ s-au electrificat relativ tîrziu: Reghin în 0, Sovata în 1925, Luduș în 1935 și Tîrnăveni în 1939. Electrificarea rurală s-a dezvoltat tîrziu și anevoios. Dacă eptăm satele Podeni, Sîntana, Mureșeni, care astăzi intră componența municipiului Tg. Mureș și care s-au electrificat anul 1922 prin unități industriale, electrificarea celorlalte e din județ s-a făcut mult mai tîrziu.

Electrificarea industrială, începută în jurul anilor 1890 micile centrale electrice de la fabricile de zahăr, cherestea pirt din Tg. Mureș, a fost dezvoltată foarte puternic pentru le timpuri prin construirea combinatului chimic „Nitro-" din Tîrnăveni, pus în funcțiune în 1917 ca uzină de răz-și prevăzut de la început cu o importantă centrală electrică termoficare folosind gaze naturale.

n 1917 centrala era echipată cu două turbogeneratoare abur de cîte 6000 kW, 7500 kVA, 5500 V trifazat, 50 Hz, turbine Lang și generatoare Ganz. În 1918 s-au pus în cțiune încă două turbogeneratoare de cîte 6400 kW, 0 kVA, 5500 V trifazat, 50 Hz, cu turbine Erste Brünner eneratoare Ganz, puterea totală instalată în centrală cîndu-se la 24 800 kW, putere foarte importantă pentru vreme.

n 1931, unul dintre grupurile de 6 000 kW s-a defectat u a mai fost reparat, astfel încît puterea instalată a cen-ei s-a redus la 18 800 kW. Această putere reprezenta și mult mai mult decît necesitățile combinatului chimic, nu s-a mai dezvoltat potrivit prevederilor inițiale, ceea permis Societății SETA din Sibiu să contracteze cu ietatea „Nitrogen" livrarea de putere și energie electrică centrala Tîrnăveni.

cest contract a stat la baza activității de electrificare ășurată de SETA în Ardeal, deoarece i-a creat posibi-ea tehnică de a alimenta cu electricitate o importantă ine, CET Tîrnăveni devenind astfel principala centrală temului regional Ardealul central.

rerile de putere și energie electrică crescînd, în 1941 s-a tat în CET Tîrnăveni un nou grup turbogenerator Sie-s de 12 000 kW, puterea totală instalată a centralei îndu-se la 30 800 kW.

Pentru a putea aprecia mai bine rolul acestei centrale în electrificarea Ardealului central, se dau mai jos cantitățile de energie electrică produse de CET Tîrnăveni în cîțiva ani caracteristici :

Anul	1918	1920	1938	1945	1948	1950
mil. kWh/an	8,5	25	56	56	90	101,5

Municipiul Tg. Mureș a fost electrificat în anul 1897, folosindu-se o centrală industrială.

În documentele timpului se menționează că în anul 1880 funcționau în orașul Tg. Mureș două fabrici de spirt și cîte o fabrică de zahăr, mobilă, cărămizi și cherestea ; toate aceste fabrici erau înzestrate cu mașini cu abur. Dezvoltarea în continuare a acestor industrii a avut în vedere ca sursă pentru forța motoare energia electrică, ceea ce reprezenta o soluție foarte avansată pentru acea vreme. La toate aceste fabrici au fost instalate centrale termoelectrice proprii, mai întîi la fabrica de zahăr, apoi la cea de cherestea și cea de spirt.

În 1897 a fost pusă în funcțiune la fabrica de cherestea o nouă centrală electrică destinată — ca urmare a unei înțelegeri cu primăria — să alimenteze cu energie electrică și orașul. Această centrală a fost echipată inițial cu patru grupuri identice formate fiecare din mașină cu abur de 575 CP, cuplată cu generator de 470 kVA, 3100 V, trifazat, 42 Hz, deci o putere instalată de 2300 CP și, respectiv, 1880 kVA.

Pentru distribuție s-a construit o rețea primară aeriană de 3 000 V, cîteva posturi de transformare de 3 000/190/110 V și o rețea aeriană de distribuție 3 × 190/110 V, pe stîlpi de lemn. Posturile de transformare aeriene, pe stîlpi, erau echipate cu transformatoare monofazate de 5 și 10 kVA, legate în stea pentru a realiza circuitele trifazate. Rețeaua electrică s-a dezvoltat, în această primă perioadă, la circa 10 km cea de 3 kV și la circa 15 km cea de joasă tensiune.

Dezvoltarea orașului, creșterea rapidă a numărului consumatorilor și a cererii de putere și energie electrică au condus la hotărîrea construirii de către primărie a unor instalații de producere proprii.

În 1910 s-a pus în funcțiune noua centrală termoelectrică comunală echipată cu două grupuri identice Diesel-electrice de 300 CP 210 kVA, 3 100 V trifazat, 42 Hz. În 1913 s-a instalat un nou grup format din motor cu gaz de 300 CP și generator electric cu aceleași caracteristici ca și primele două. Puterea totală instalată a centralei termice comunale a devenit astfel 900 CP, respectiv 630 kVA.

În aceeași perioadă, rețeaua de 3 kV a ajuns la o lungime de circa 24 km, din care 21 km aeriană și 3 km subterană, iar rețeaua de 3×190/110V a ajuns la circa 50 km, cu 30 posturi echipate cu transformatoare de la 5 la 30 kVA.

Dezvoltarea rapidă a rețelei a atras după sine necesitatea unei amplificări substanțiale a instalațiilor de producere. În 1913 s-a pus în funcțiune centrala hidroelectrică comunală, pe Mureș, echipată cu trei grupuri identice, formate fiecare din turbină Kaplan de 600 CP și generator de 400 kVA, 3100 V trifazat, 42 Hz.

Puterea totală instalată în cele două centrale electrice comunale a ajuns la sfîrșitul anului 1913 la 2700 CP și 1030 kVA.

În 1930 centrala termoelectrică comunală a fost din nou amplificată, instalîndu-se un turbogrup cu generator de 500 kVA, 3100 V trifazat, 42 Hz.

În 1930—1944 rețeaua electrică s-a dezvoltat permanent, electrificîndu-se atît cartierele orașului cît și satele Mureșeni, Sîntana și Podeni, astăzi în componența municipiului, precum și satele Sîncrai și Sîngeorgiu de Mureș.

*) Fragment din lucrarea „Istoria electrificării României", rată de un colectiv sub conducerea prof. univ. emerit C. Dinculescu, ce urmează să apară.

În 1938 instalațiile și principalele date de exploatare au fost:

— puterea totală instalată în cele două centrale electrice comunale 3 200 CP, respectiv 2 330 kVA, din care 1800 CP, 1 200 kVA în centrala hidroelectrică;

— rețeaua de distribuție primară 3 000 V în lungime de 30,4 km, cu 82 posturi de transformare de 2397 kVA și 72,7 km rețea de distribuție de 3 × 190/110 V alimentînd 6113 abonați (din care 1190 cu tarif paușal) și 1030 lămpi electrice publice;

— 3 931 841 kWh energie electrică produsă, din care circa 300 000 kWh în centrala hidroelectrică.

În 1944 cele două centrale electrice ale orașului au fost distruse de trupele germane în retragere. În primul an după război, orașul a fost alimentat provizoriu, cu putere redusă, din centrala fabricii de zahăr, printr-o stație de transformare 0,4/3 kV, 50 Hz, c.a. trifazat. Totodată a început și refacerea celor două centrale electrice comunale, reușindu-se ca la sfîrșitul anului 1945 să fie instalate și să intre în funcțiune în centrala termică două grupuri Diesel-electrice noi de cîte 1 500 CP, 1 200 kVA, 6 300 V trifazat, 50 Hz. În aceeași perioadă au fost reparate și puse în funcțiune și grupurile din centrala hidroelectrică cu frecvența de 42 Hz.

În această situație, cele două centrale au trebuit să funcționeze pe sectoare separate de rețea. Deoarece rețeaua de distribuție primară existentă nu putea să funcționeze decît sub 3 000 V, a fost necesară construirea la centrala termoelectrică a unei stații provizorii de transformare 6/3 kV.

Alimentarea orașului a funcționat în schema cu două centrale de frecvențe diferite și două sectoare separate de rețea, pînă la racordarea orașului — în 1954 — prin LEA 35 kV Fîntînele-Tîrgu Mureș la sistemul regional Ardealul central, cînd a fost posibil ca întregul oraș să fie trecut pe frecvența de 50 Hz și instalațiile de distribuție să furnizeze energie electrică la tensiunile 6 000 V și 380/220 V.

Municipiul Sighișoara a fost electrificat în anul 1903. În jurul anilor 1900, primăria orașului Sighișoara a hotărît să înceapă primele lucrări necesare electrificării, în care scop, prin vînzarea unor păduri din împrejurimi, și-a putut procura fondurile respective.

Pentru proiectarea și conducerea executării lucrărilor s-a colaborat cu cunoscutul specialist ing. Oskar von Miller din München, care încă din perioada anilor 1895 luase contact și cu alte probleme energetice ale Ardealului, în special prin proiectarea și construirea în anul 1896 pentru orașul Sibiu, a centralei hidroelectrice Sadu I.

În 1903 s-a pus în funcțiune pe Tîrnava Mare, pe locul unei mori cu apă a primăriei, centrala electrică a orașului Sighișoara, echipată cu: un grup turbină cu apă Ganz de 100 CP, 66 kW, 300/150 V c.c. și un grup mașină cu abur Lang de 180 CP, 107 kW, 300/150 c.c. și o baterie de acumulatoare tampon.

Rețeaua de distribuție în c.c., de 300/150 V, a fost construită în întregime aerian, pe stîlpi de lemn, purtînd pe o consolă, la vîrf, conductoarele care alimentau cele cinci puncte de alimentare (fiderii), iar dedesubt, pe o altă consolă, conductoarele rețelei de distribuție.

Cererile de energie fiind în creștere, în anul 1907 s-a amplificat centrala, montîndu-se un nou grup, turbină Francis verticală de 150 CP, construcție Schiel (Brașov) cu dinam de 100 kW, 300/150 V c.c. În 1912 s-a montat în centrală și un grup Diesel-electric de 300 CP, 205 kW, 300/150 V c.c., astfel încît la sfîrșitul anului 1912 centrala electrică comunală avea o putere instalată de 730 CP, respectiv 478 kW.

Imediat după primul război mondial, la Sighișoara au început să se dezvolte numeroase industrii casnice, în special de mătase, lînă, textile etc., care solicitau alimentarea cu energie electrică pentru forță motoare. A devenit necesară o nouă amplificare a instalațiilor de producere, cu atît mai mult cu cît inundațiile din anul 1924 au rupt barajul și au scos din funcțiune grupurile hidroelectrice, rămînînd în funcțiune numai grupurile termice, adică în total 480 CP, respectiv 312 kW, și aceasta tocmai în perioada în care solicitările de putere și energie electrică erau tot mai mari.

Pentru a se ieși din această situație grea, s-a hotărît instalarea în centrală a unor noi grupuri Diesel, repunerea în funcțiune a părții hidroelectrice a centralei, înlocuirea turbinei Schiel — care nu a dat rezultatele scontate — și introducerea curentului alternativ, pentru a putea face față mai bine e tinderii continue a rețelei electrice.

În 1926 s-a montat un nou grup Diesel, al doilea, de 400 C care antrena prin curea o șaibă avînd la un capăt cuplat din mul de 107 kW — care fusese antrenat pînă atunci de mași cu abur Lang, între timp învechită și uzată —, iar la celăla capăt un generator de 200 kW, 3150 V c.a. trifazat, 50 H

În 1928 s-a instalat și un nou grup hidroelectric, turbi Francis de 250 CP, de construcție Voith, cuplată cu generat de 200 kVA, 3150 V, c.a. trifazat, 50 Hz, această ampli care a părții hidroelectrice necesitînd și amplificarea baraju și canalului de aducțiune.

În felul acesta s-a reușit ca la sfîrșitul anului 1928 puter totală instalată în centrală să fie de 1050 CP, respectiv 3 kW în c.c. și 400 kVA în c.a.

Dificultățile de exploatare ale centralei electrice, ca și c dițiile relativ avantajoase oferite de Societatea SETA Sibiu au condus la contractarea în anul 1931, de către prin ria orașului, a alimentării cu energie electrică a orașului Sig șoara din rețeaua SETA.

În anii 1931—1932 SETA execută lucrările de aliment din rețeaua sa, constînd din: LEA 15 kV Dumbrăveni-Sig șoara, stația centrală de conexiuni și transformare 15000/3 220 V, rețeaua de distribuție primară în oraș de 15 000 V o serie de posturi de transformare 15 000/380/220 V, refa rea rețelei de joasă tensiune pentru 3 × 380/220 V.

Centrala electrică Sighișoara a continuat să funcționeze după racordarea orașului la rețeaua SETA interconect la aceasta cu cele două grupuri care permiteau acest lu adică: turbina hidro 250 CP, 200 kVA și grupul Diesel CP, 200 kVA, 3150 V, 50 Hz.

În 1938 situația instalațiilor electroenergetice și a exploat electricității în orașul Sighișoara era următoarea:

— puterea instalată în centrala proprie 650 CP, respe 400 kVA;

— puterea maximă absorbită de la SETA 250 kW;

— energia electrică produsă în centrala proprie c 620 000 kWh/an, plus cea achiziționată din rețeaua SE circa 950 000 kWh/an, în total circa 1 570 000 kWh/an

— rețeaua de distribuție primară de 3 și 15 kV de c 8,5 km cu 13 posturi de transformare, în total 1150 kVA circa 30 km rețea 3 × 380/220 V, alimentînd 1826 abonați (care 222 în paușal) și 490 lămpi electrice publice.

Fiind racordat la rețeaua SETA, orașul Sighișoara a alimentat începînd din anul 1950 din sistemul regional dealul central, iar din 1954 din sistemul național.

Orașul Reghin a fost electrificat în anul 1910. Pentru struirea instalațiilor necesare s-a constituit o societate nimă locală, care a început lucrările din anul 1908.

Centrala electrică locală, amplasată pe Mureș, a fost e pată inițial cu două grupuri turbine de apă de cîte 163 120 kVA, 550 V trifazat, 50 Hz, și un grup Diesel-elec de 150 CP, 150 kVA și 5500 V, trifazat, în total 476 respectiv 360 kVA.

După primul război modial s-a amplificat centrala cu nou grup Diesel-electric de 540 CP, 400 kVA, cu acel caracteristici electrice.

La nivelul anului 1938 au existat la Reghin următoa instalații:

— centrala electrică cu două grupuri hidro și două gru termice avînd o putere totală instalată de 1016 CP, 760 k

— o rețea de distribuție primară de 5 000 V de circ km lungime, cu 24 posturi de transformare 5 000/120 V 607 kVA instalați, și o rețea de distribuție secundară 3×1 fără fir neutru, alimentînd 1512 abonați (din care paușal) și 420 lămpi electrice publice.

În același an, centrala locală a produs circa 620 000 k din care circa 500 000 kWh cu grupurile hidroelectrice

Exploatarea instalațiilor s-a făcut printr-un serviciu c nal.

Orașul Sovata a fost electrificat în anul 1925. Constr instalațiilor necesare electrificării a început în 1924, lucr fiind finanțate de societatea particulară care deținea și tul de exploatare a băilor.

Inițial, în centrul stațiunii s-a construit o mică cen termică locală, în care s-a instalat un grup mașină cu — generator de 40 kVA c.a. monofazat, 110 V, 50 Hz.

Vilele din apropierea centralei au fost alimentate direct de la tabloul principal printr-o linie aeriană de 110 V. Pentru vilele mai depărtate s-a instalat la centrală un post de transformare ridicător 110/1 200 V 10 kVA și o linie aeriană de 1,2 kV, care alimenta un post de transformare 1 200/110 V, 10 kVA la circa 1 km de centrală, alimentînd o rețea de distribuție de joasă tensiune de 110 V în lungime de circa 2 km. Pe traseele rețelelor de joasă tensiune s-au instalat și lămpi electrice publice.

Dezvoltarea în continuare a stațiunii a impus și amplificarea instalațiilor în perioada 1928—1936 în mai multe etape.

La nivelul anului 1938, în centrala electrică erau instalate și funcționau după un program redus un grup Diesel-electric 70 CP, 50 kVA trifazat, 400/231 V, 50 Hz și un grup Diesel-electric 110 CP, 80 kVA, avînd celelalte caracteristici electrice identice.

Rețeaua electrică s-a dezvoltat în mod corespunzător.

Instalațiile electroenergetice din Sovata au funcționat în această formă pînă la actul naționalizării din 1948, cînd ele au fost preluate de IRE Sibiu. Pentru a se evita exploatarea unei mici centrale izolate s-a construit în 1948 o LEA de 15 kV între centrala electrică a salinei Praid, din apropiere, și centrala stațiunii Sovata, prin care au fost alimentate instalațiile stațiunii.

Orașul Luduș a fost electrificat în anul 1935, fiind alimentat cu energie electrică de la o mică centrală particulară, echipată cu un grup Diesel-electric de 41 CP, 30 kVA trifazat, 3 × 400/231 V, 50 Hz.

În 1938, rețeaua electrică de distribuție 380/220 V a atins o lungime de circa 6 km, alimentînd aproximativ 150 abonați și 100 lămpi electrice publice. Consumul de energie electrică în același an a fost de circa 50 000 kWh/an.

Orașul Tîrnăveni a fost electrificat abia în anul 1939, deoarece primăria orașului avea contract în exclusivitate cu Societatea de gaz metan; din această cauză electrificarea a trebuit să fie mereu amînată. Trebuie menționat însă că locuințele salariaților fabricii „Nitrogen", care formau un cartier al orașului, începuseră să fie electrificate încă din perioada anilor 1920. În orașul propriu-zis, electricitatea nu a putut pătrunde însă decît parțial, în 1939, și abia în 1942 pe întreg teritoriul orașului, cînd a expirat contractul cu Societatea de gaz metan.

În 1939, SETA, care contractase deja alimentarea cu energie electrică a orașului Tîrnăveni, a construit o LEA de 15 kV de la centrala fabricii „Nitrogen", prin care au fost imediat alimentați cîțiva consumatori industriali: fabrica de cherestea, moara comercială, și prin excepție, în oraș, spitalul și alte cîteva autorități. Abia la expirarea contractului cu Societatea de gaz metan, în 1942, SETA a putut trece la executarea lucrărilor de electrificare pentru întregul oraș. S-au construit o serie de posturi de transformare 15 000/380/220 V, care, împreună cu posturile deja instalate la unitățile industriale, au fost în măsură să alimenteze rețeaua de joasă tensiune construită pe străzile orașului, inițial în lungime de circa 12 km.

Interesant este faptul că populația orașului a primit la început cu indiferență electrificarea, fiind deprinsă cu gazul metan. Abia după ce Societatea SETA a executat 300 instalații electrice interioare și racorduri gratuite, numărul abonaților a crescut la 700 în 1945 și la 1200 în 1950.

Fiind racordat la rețeaua SETA, alimentarea orașului Tîrnăveni a trecut automat în 1950 pe sistemul regional al Ardealului central.

Centralele electrice industriale autoproducătoare. Pe lîngă CET Tîrnăveni și fabrica de cherestea Tg. Mureș, despre care s-a vorbit la început, în județul Mureș s-au construit și o serie de centrale electrice industriale, dintre care cele cu puteri de la 10 kW în sus sînt arătate în tabelul alăturat.

Electrificarea rurală. Primele localități rurale electrificate în județul Mureș au fost satele Podeni, Sîntana și Mureșeni, electrificate în 1922, și care fac parte din municipiul Tg. Mureș. Tot în anul 1922 a fost electrificat și satul Miercurea Nirajului, printr-o mică centrală proprie echipată cu un grup termic.

Pînă la sfîrșitul anului 1950 au fost electrificate 12 din cele 487 sate ale județului, și anume: Podeni, Mureșeni, Sîntana de Mureș, Miercurea Nirajului, Sîncrai de Mureș, Gurghiu, Sîngiorgiu de Pădure, Lunca Bradului, Dumitrești Sîngiorgiu de Mureș, Saschiz și Dimbău.

Ca soluții de alimentare s-au folosit cîteva racorduri la centrala și rețeaua orașului Tg. Mureș și cîteva mici centrale termice locale.

După 1950 s-a trecut la cunoscuta campanie intensivă de electrificare rurală, care a condus la electrificarea totală a satelor județului.

Nr. crt.	Întreprinderea și localitatea	Anul punerii în funcțiune	Felul grupului	Nr. unități	Puterea, kW	
					unitară	totală
1	Fabrica de bere Adalbert Bürger — Tg. Mureș	1907	MA	1	107	
			MA	1	48	
			MG	1	8	161
2	Fabrica de zahăr Tg. Mureș	1921	MA	2	44	
			MA	1	53	
			TA	1	50	
			TA	1	1300	1 491
3	Mendel Farkas, Fabrica de spirit Reghin	1925	MA	1	40	40
4	Fabrica de spirt Tg. Mureș	1925	MA	1	23	23
5	Industria de morărit ardeleană — Tg. Mureș	1925	MA	1	11	
			MA	1	30	41
6	Fabrica de prelucrare oase și clei — Tg. Mureș	1925	MA	1	58	58
7	Industria chimică „Mureșul" — Tg. Mureș	1925	MA	1	56	56
8	„Deda-Bistra" — fabrică de cherestea — Deda	1925	MA	1	45	
			MA	1	54	99
9	„Reghinul săsesc" SA pentru comerț cu scaune — Iernuțeni	1925	MA	2	390	780
10	Soc. forestieră Lunca Bradului	1925	MA	2	35	70
11	Industria Lemnului SA Reghin	1925	MA	1	57	57
12	SAR „Patria" pentru exploatare lemne — Sărmaș	1925	MA	1	19	
			MA	1	8	27
13	„Mertitz" SA pentru industria lemnului — Tg. Mureș	1925	MA	1	50	50
14	Fabrica de piele „Mureșeni"					
15	C. Teleky — Dumbrăvioara	1925	MA	1	122	122
16	Schwartz Mendel — Fabrica de cherestea — Reghin	1925	TH	1	11	11
17	CFR Tg Mureș	1925	TH	1	15	15
18	Fabrica de sticlă „Ardeleana" —	1925	MD	1	17,5	17,5
	Tîrnăveni	1929	MG	4	78	312
19	SA pentru prelucrarea pieilor — Tg. Mureș	1931	MG	1	180	
			MG	1	50	230

MA — mașină cu abur; MG — motor cu gaz; TA — turbină cu abur; TH — turbină hidraulică

Bibliografie

[1] * * * Ministerul Industriei și Comerțului. *Statistica instalațiilor de forță din România.* București, 1925.

[2] * * * APDE. *Statistica uzinelor electrice din România, 1936, 1938, 1941.*

[3] Crăciunaș, S. și Fundățeanu, I. *Raport de expertiză asupra întreprinderilor comunale Sighișoara.* București, 1930.

Recenzii

TH. MICLESCU și G. BAZACLIU. **Optimizări în sistemele energetice.** Editura didactică și pedagogică, București, 1977, 263 p.

În literatura tehnică de specialitate cu caracter pedagogic din țara noastră, cartea conf. dr. ing. Th. Miclescu și asist. ing. G. Bazacliu „Optimizări în sistemele energetice" reprezintă, fără îndoială, o lucrare de pionierat.

Cartea cuprinde prelegerile predate în ultimii ani de către autori studenților electroenergeticieni la disciplina *„Optimizări în sistemele energetice"* și se referă la problemele de proiectare, construcții-montaj și exploatare a acestor sisteme, susceptibile de a căpăta soluții optime.

Cele zece capitole ale lucrării se succed tocmai în această ordine a problemelor, ordine firească de altfel pentru realizarea și folosirea oricărui obiectiv de investiții industriale. Fiecare capitol este urmat de bibliografie, și ceea ce constituie, credem, un merit deosebit al cărții este faptul că fiecare capitol, cu excepția capitolului introductiv, conține exemple de aplicații, ca și probleme propuse cititorului cu soluții dezvoltate la sfîrșitul lucrării.

În capitolul 1 (care reprezintă partea introductivă a lucrării) sînt trecute în revistă noțiunile de bază privind aplicarea cercetării operaționale în energetică. În acest sens sînt prezentați termenii specifici, istoricul, principiile și legătura dintre cercetarea operațională și studiul sistemelor energetice.

Capitolul 2 al lucrării se ocupă de problema optimizării repartiției investițiilor între diversele tipuri de centrale electrice ale sistemelor energetice.

După descrierea procesului este prezentat modelul matematic — restricțiile și, respectiv, funcția economică.

Alegînd drept funcție economică cheltuielile anuale de calcul Z, optimizarea se reduce la problema programării liniare. În continuare se prezintă forma generală a modelului problemei de programare liniară, după care este prezentată metoda simplex de rezolvare a acestei probleme, algoritmul simplex, obținerea unei soluții de bază inițială și procedeele de calcul: tabloul lui Charnes, Cooper, Henderson.

Se poate pune totuși problema dacă, așa după cum o dovedește experiența dobîndită atît în țara noastră cît și peste hotare, nu ar fi fost mai indicat ca autorii să fi considerat drept funcție economică (funcție-obiectiv) cheltuielile anuale actualizate, și nu cheltuielile anuale de calcul.

Capitolul 3 al cărții se ocupă de determinarea rezervei opime de putere în sistemele energetice.

Pornind de la considerentul că valoarea siguranței în funcționarea unui sistem energetic este univoc determinată de valoarea rezervei de putere în acest sistem, capitolul abordează metoda de determinare a valorii optime a acestei rezerve, operînd pe o funcție-obiectiv, în care, în afara investițiilor afectate de un coeficient normat de eficiență economică și cheltuielile anuale de exploatare pe sistem, se mai adaugă și daunele datorate întreruperilor în alimentarea cu energie electrică. Este de remarcat și aici faptul că, deși funcția-obiectiv aleasă este mai completă, totuși și în acest caz s-ar fi putut considera drept funcție-obiectiv cheltuielile anuale actualizate.

În continuare, în cadrul capitolului se dezvoltă: probabilitatea de avariere și respectiv de funcționare fără avarie a sistemelor energetice, determinarea energiei electrice nelivrate medie în caz de avariere, durata de avarie, avariile simultane, influența caracterului aleatoriu al prognozei curbei de sarcină, influența descărcării de sarcină și, în sfîrșit, influența autoreglării sarcinii asupra funcționării sistemelor energetice.

Credem că n-ar fi fost lipsit de interes ca în cadrul acestui capitol să se fi făcut cîteva referiri cu privire la insularizarea centralelor electrice de pe platformele industriale în caz de avarie în sistem, problemă deosebit de importantă în practica actuală de exploatare a sistemelor energetice.

Capitolul 4 al lucrării este rezervat problemei determinării configurației optime a rețelelor electrice din sistemele energetice. După punerea problemei și expunerea etapelor de rezolvare a acesteia, se trece la stabilirea modelului matematic utilizînd elemente de teoria grafelor și care reprezintă un *model matematic al problemei de transport.*

Restricțiile modelului matematic stabilit exprimă verificarea condițiilor de bilanț în rețelele electrice ale sistemelor energetice prin luarea în considerare a pierderilor de putere activă.

În continuare, în cadrul acestui capitol se prezintă modelul matematic al problemei de transport ca un caz parcular al problemei de programare liniară, determinarea unei soluții de bază inițială, metoda distributivă de determinare a soluției optime (metoda Stepping-Stone), metoda distributivă modificată (MODI), cazul degenerării problemei de transport, și în sfîrșit, situația cînd disponibilul de putere în sistem este mai mare decît puterea cerută de consumatori.

Facem observația la acest capitol că modelele matematice de obținere a configurației optime a rețelelor electrice a sistemelor energetice în ultimii ani s-au perfecționat și diversificat foarte mult, un accent deosebit trebuind a se pune pe două aspecte: siguranța în continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor și minimizarea pierderilor de energie electrică și putere. Poate că n-ar fi lipsit de interes ca într-o eventuală nouă ediție a] cărț să se aprofundeze aceste aspecte de deosebită importanță cu privire la pe spectiva dezvoltării rețelelor electrice a sistemelor energetice.

Capitolul 5 al cărții abordează pr blema optimizării construcției și monta jului echipamentului energetic.

Capitolul este elaborat pe baza pr lucrării și valorificării îndeosebi a exper enței acumulate în țara noastră în d meniul execuției lucrărilor energetic

Pornind de la construcția unei LEA 400 kV, în cadrul capitolului se prezint elemente de teoria grafelor, precum metoda drumului critic în vederea opt mizării (în sensul minimizării) mărim duratei de construcție a obiectivel energetice.

Capitolul 6 al cărții are drept obie problema optimizării repartiției produ tivității între instalațiile sistemului ele troenergetic, prin productivitatea un instalații înțelegîndu-se producția ace teia în unitatea de timp.

După punerea problemei se trece prezentarea unităților de măsură fol site în instalațiile termice, precum și caracteristicilor acestora, pentru ca ap să se studieze problema propriu-zisă capitolului: repartiția optimă a produ tivității între instalațiile electroenergeti în cazul caracteristicilor de consu liniare, repartiția optimă a productiv tății între instalațiile electroenergeti în cazul caracteristicilor de creșteri rel tive continue, metoda funcțiilor de pen lizare pentru determinarea repartiț optime și repartiția optimă a produc vității între instalațiile electroenergeti în cazul carateristicilor de creșteri rel tive discontinue și a caracteristicil de consum convexe sau concave.

Capitolul 7 este rezervat problem optimizării funcționării instalațiilor un centrale electrice.

În cadrul acestui capitol sînt preze tate și rezolvate următoarele problem repartiția optimă a productivității înt cazanele unei centrale termoelectric repartiția optimă a productivității înt turbinele unei centrale termoelectric caracteristica de creșteri relative și consum (minim) a centralei electri și, în final, caracteristicile turbinel hidraulice și ale centralelor hidroele trice.

Capitolul 8 al cărții abordează problen repartiției puterilor la un moment d între centralele electrice interconectat După prezentarea modelului matemat de funcționare a sistemului energet la un moment dat, se trece la evaluar creșterilor relative ale pierderilor putere activă și reactivă, interpretar și semnificația coeficienților μ și ν d

cuațiile ce exprimă funcționarea eco-
omică a sistemului energetic, după care
ste prezentată determinarea expresiei
ierderilor de putere în sistemul electro-
nergetic potrivit metodei Kron.

În continuare, în cadrul capitolului
este abordată problema determinării
oluției optime de funcționare a unui
stem energetic care îndeplinește con-
ția de conformitate, după care este
ezentat modul de utilizare a programării
nvexe pentru repartiția optimă a
terilor între centralele sistemului ener-
tic, precum și metodele de rezolvare a
ogramării convexe (teorema și condi-
le Kuhn-Tucker, metodele de gradient).

Capitolul 9 al cărții este rezervat
oblemei optimizării repartiției pe termen
urt a puterilor între centralele electrice
terconectate. Sînt luate în considerare
stemele mixte formate din centrale
rmo și hidroelectrice cu producția de
ergie electrică impusă și, respectiv,
care se cunoaște cantitatea de apă
sponibilă pentru CHE.

Pentru funcționarea economică a sis-
melor energetice mixte din punct de
dere al repartiției optime, pe termen
urt, a puterilor între centrale, se pre-
ită modul de folosire a metodei pro-
amării dinamice, precum și eficacitatea
estei metode.

Ultimul capitol al lucrării (cap. 10)
ocupă de problema optimizării func-
nării de durată a sistemului electro-
ergetic.

După prezentarea modelului dinamic
ntru funcționarea de durată a siste-
ului electroenergetic (condițiile func-
nării reale, descrierea modelului, func-
economică, sistemul de restricții,
toda de realizare a modelului), se dă
exemplu de calcul ce ia în considerare
sistem electroenergetic format din
ă centrale cu două și, respectiv, trei
egate.

În continuare, capitolul se ocupă de
erminarea numărului mediu de struc-
turi posibile ale agregatelor centralelor unui sistem electroenergetic, considerîndu-se o situație simplificată în care sistemul ar avea *n* centrale, fiecare centrală avînd *m* agregate, de aceeași putere disponibilă, iar caracteristica de consum este identică pentru agregatele aceleiași centrale, dar diferă de la centrală la centrală.

Se dă apoi un exemplu de calcul privind determinarea numărului mediu de structuri posibile, după care se prezintă determinarea numărului de structuri posibile pe subinterval și a numărului de strategii după un anumit număr de subintervale, cu ajutorul calculatorului electronic.

În încheierea subcapitolului referitor la modelul dinamic al funcționării sistemului electroenergetic pe o perioadă lungă de timp se discută acest model sub aspectul caracteristicilor și al avantajelor și dezavantajelor pe care le prezintă.

Cel de-al doilea subcapitol al capitolului 10 al cărții se ocupă de modelul liniar al sistemului electroenergetic corespunzător funcționării de durată (funcția economică, sistemul de restricții, metoda de rezolvare a modelului).

Cartea se finalizează cu soluționarea tuturor problemelor propuse spre rezolvare la fiecare capitol în parte.

Din prezentarea foarte pe scurt a conținutului cărții conf. dr. ing. Th. Miclescu și asist. ing. G. Bazacliu, rezultă, credem, cu prisosință faptul că aceasta, pe lîngă că este foarte utilă studenților — viitorii ingineri electroenergeticieni — , poate ajuta pe specialiștii energeticieni care în activitatea lor practică trebuie să rezolve probleme de optimizare.

Cartea are caracter monografic, dar înglobează în același timp și aportul personal al autorilor, aport concretizat în lucrările de specialitate publicate de-a lungul anilor în țară și peste hotare și care sînt citate în bibliografia distribuită pe capitole.

Fiind prima lucrare de acest gen apărută în literatura pedagogică și tehnică de specialitate din țara noastră, lucrarea este susceptibilă de completări și îmbunătățiri. În acest sens avem în vedere necesitatea unei mai accentuate apropieri a conținutului cărții de latura practică a activității din sistemul nostru energetic național, ca și din sistemele altor țări, ceea ce înseamnă de fapt, și pe această linie, o și mai accentuată corelație învățămînt-cercetare-producție.

Astfel, într-o nouă ediție, cartea ar trebuie să cuprindă, după părerea noastră, referiri și exemple de calcul pe baza prescripțiilor, instrucțiunilor și normativelor Ministerului Energiei Electrice cu privire la optimizarea sistemului energetic și, în mod deosebit, cu privire la siguranța în continuitatea alimentării cu energie electrică a diverselor categorii de consumatori. În aceeași ordine de idei, un accent deosebit în optimizările sistemului electroenergetic trebuie pus pe acțiunea de economisire și utilizare rațională a energiei electrice. În acest sens, modelele matematice ale determinării configurației optime a rețelelor electrice trebuie să se bazeze pe conjugarea criteriului de siguranță în alimentarea consumatorilor de energie electrică cu criteriul minimizării pierderilor de energie electrică și putere.

O problemă căreia considerăm necesar a i se da o atenție deosebită este aceea a optimizării automaticii de sistem legată și de acțiunea personalului de deservire operativă a instalațiilor sistemului energetic.

În sfîrșit, ar trebui subliniate influențele optimizărilor în sistemele energetice asupra fundamentării deciziilor ce trebuie adoptate, începînd cu cele operative și terminînd cu cele strategice de urmat în politica energetică de perspectivă.

Ing. **Romulus Sfichi**

SOMMAIRE

CD 621.181.002.0

Pănoiu, N., Carabogdan, I., Cazacu, C. et *Bicleşeanu, D.* : **Tendances du développement de la construction des chaudières en Roumanie, vues sous l'aspect de la structure et des réserves de combustible et de leur utilisation efficiente**

Après avoir passé en revue les tendances sur le plan mondial et les problèmes techniques limitant le débit des chaudières, les auteurs présentent ensuite quelques opinions sur le type des installations de chaudières qui pourraient brûler de manière optimale les combustibles indigènes.

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 139–145

CD 621.165.001.5

Istrate, I. : **Contributions au calcul des contraintes dynamiques sur les pales de turbine fonctionnant près de la résonnance**

On analyse l'influence du fonctionnement du système électroénergétique national à des fréquences au-dessous de 50 Hz sur les pales des turbines à vapeur, au point de vue des contraintes mécaniques.

Energetica 26 (1978), no, 4 p. 145–151

CD 621.187.12

Chirica Elena et *Chirica, M.* : **Elimination des impuretés ferromagnétiques du circuit eau-vapeur dans les centrales thermiques, par le filtrage électromagnétique**

L'article présente le filtre électromagnétique réalisé par ICEMENERG, de même que les résultats des essais en laboratoire et en conditions d'exploitation.

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 151–156

CD 621.311.25 : 621.039

Pop, M. G. M., Manea, D. et *Ursu Ecaterina* : **Etude comparative de l'influence des régimes transitoires quasi-stationnaires et de choc sur la durée de vie des générateurs à vapeur dans les centrales nucléaires**

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 157–162

CD 621.315.1.001.5

Gheorghiu, I. : **Contributions à la dynamique du mouvement des conducteurs des lignes électriques aériennes causé par le vent à direction prédominante au long des lignes**

On présente les résultats obtenus par suite du calcul concernant la distribution de la force et de la vitesse du vent capable à imprimer le mouvement du conducteur.

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 162–166

CD 628.977.004

Stavrescu, O. et *Dinulescu, C.* : **Economie d'énergie par la répartition judicieuse du flux lumineux**

Possibilité d'économiser l'énergie électrique en appliquant un système d'éclairage non-uniforme sur le plan de travail, dans différents domaines d'emploi de l'éclairage (éclairage ménager, dans les bureaux, les écoles, le commerce, éclairage des rues).

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 167–172

Alexe, Fl. et *Harth, V.*: **Etude de la corrélation entre la croissance industrielle et la consommation d'énergie électrique dans l'industrie**

Energetica 26 (1978), no. 4 p. 173–176

CD 621.311.1.001.1

Morţun, C. : **L'électrification du département Mureş**

Energetica 26 (1978), no. 4, p. 177–179

COMPTES-RENDUS

CONTENTS

DC 621.181.002.0

Pănoiu, N., Carabogdan, I., Cazacu, C. and *Bicleşeanu, D.* **Trends in the construction development of Romanian made boilers regarding their structure and fuel supply as wel as their efficient operation**

After reviewing a number of world scale trends and technical problems restricting boiler flow, some oppinions are shown regarding the type of boiler installation in which domestic fuels can be burnt best.

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 139–145

DC 621.165.001.5

Istrate, I. : **Contributions regarding the computation of dyna mie stresses at turbine blades operating close to the reso nance level**

There is analysed the operating influence of the nationa electroenergetic system with frequencies under 50 Hz o steam boiler blades, from the point of view of mecha nica stresses.

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 145–151

DC 621.187.12

Chirica Elena and *Chirica, M.* : **Removal of ferromagneti impurities from water-steam circuits of thermal powe stations, by electromagnetic baffling**

The article describes the electromagnetic baffle accompl shed in ICEMENERG as well as the results of laboratory an field experiments.

Energetica 26 (1978), nr..4, p. 151–156

DC 621.311.25 : 621.039

Pop, M. G. M., Manea, D. and *Ursu Ecaterina* : **A compar tive study of the influence of transitory quasi-stationar respectively shock regime on life duration of steam gener tors within nuclear power stations**

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 157–162

DC 621.315.001.5

Gheorghiu, I. : **Contributions regarding the dynamics overhead electric line movement induced by the wi directed mainly along lines**

Some results are presented following the computation the distribution of strength and speed of wind directed main along lines.

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 162–166

DC 628.977.004

Stavrescu, O. and *Dinulescu, C.* : **Energy savings by a judicio distribution of the light flux**

The paper shows the possibility of electric energy savin by applying a non-uniform lighting on the working pl system within various fields of illumination usage (domest offices, schools, commerce, street illumination).

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 167–172

Alexe, Fl. and *Harth, V.*: **A study in the correlati betrween industrial growth and electric energy consun tion in the industry**

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 173–176

DC 621.311.1.001.1

Morţun, C. : **Electrification of Mureş district**

Energetica 26 (1978), nr. 4, p. 177–179

REVIEWS

СОДЕРЖАНИЕ

621.181.002.0

нойю, И., Карабогдан, И., Казаку, К. и *Быклешяну, Д.*
**Тенденции в области развития конструкции котлов
СРР под углом зрения структуры и резервов горю-
его и их эффективного употребления**
После обзора тенденций на международном плане
технических задач, которые ограничивают произ-
дительность котлов, представлены мнения относи-
ьно типа установок котлов, в которых могло бы
тимально сгорать местное горючее.

rgetica 26 (1978), No. 4, стр. 139–145

621165.001.5

прате, И.: **Вклад относительно вопроса динамиче-
кого воздействия на лопатки турбины, работающей
пределах резонанса**
Анализируется, с точки зрения механического воз-
ствия, влияние работы национальной энергосистемы
астотой меньше 50 Гц на лопатки паровых турбин.

getica 26 (1978), No 4, стр. 145–151

621.187.12

рика Елена и *Кирика, М.*: **Удаление ферромаг-
итных загрязнений из цепи вода-пар теплоэлектро-
анций электромагнитной фильтрацией**
статье представлен электромагнитный фильтр,
пизованный ИЧЕМЭНЕРГ, как и результаты ла-
аторных испытаний и в условиях эксплуатации.

etica 26 (1978), No 4, стр. 151–156

621.311.25 :621.039

, М. Г. М., Маня, Д. и *Урсу Екатерина*: **Сравни-
льное изучение влияния переходных квазистацио-
рных и уадрных режимов на продолжительность
аровых котлов АЭС**

etica 26 (1978), No 4, стр. 157–162

621.315.1.001.5

ргиу, И.: **Вклад относительно динамики коле-
ния проводов воздушных линий электропередачи,
ызванное ветром, с превосходно продольным нап-
тмлением**
редставлены полученные расчетные результаты
сительно силы и скорости ветра в силе передать
оду движение.

etica 26 (1978), No 4, стр. 162–166

28.977.004

вреску, О. и *Динулеску, К.*: **Экономия электро-
ергии целесообразным распределением светового
тока**
редставлена возможность экономии электроэнергии
рением системы разнообразного освещения рабо-
плана в разных областях применения освещения
щение жилых домов, рабочих кабинетов, школ,
овых единиц и уличное освещение).

tica 26 (1978), No 4, стр. 167–172

се, Фл. и *Гарт, В.*: **Исследование взаимосвязи
жду промышленным ростом и потреблением
ектроэнергии в промышленности**

tica 26 (1978), No 4, стр. 173–176

1.311.1.001.1

рфун, К.: **Электрофикация уезда Муреш**

ica 26 (1978), No 4, стр. 177–179

ЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.181.002.0

Pănoiu N., Carabogdan, I., Cazacu C. und *Bicleşeanu, D.*: **Richtungen der Kesselbauenentwicklung in der Sozialistischen Rumänien Republik, vom Gesichtspunkt der Feuerungstruktur und -Reserven und ihrer wirksamen Gebrauch**
Nach eine Vorstellung der Weltrichtungen und der technischen Problemen die den Kesseldurchfluss begrenzen, Meinungen über den Kesselinstallationstyp, wobei muss die Feuerungen optimal verbrennen, dargestellt werden.
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 139–145

DK 621.165.001.5

Istrate, I.: **Beitragen zur Beanspruchungenrechnung dynamisch an den Turbinenschaufeln, die nähe an die Rezonanz laufen**
Man analysiert die Laufbeeinflussung des nationalen Elektrischeenergiesystems mit Frequenzen unter 50 Hz über die Dampfturbinenschaufeln, vom Gesichtspunkt der mechanischen Beanspruchungen.
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 145–151

DK 621.187.12

Chirica Elena und *Chirica, M.*: **Beseitigung der ferromagnetischen Verunreinigungen, von Wasser-Dampfkreis der thermoelekrischen Zentralen, durch elektromagnetische Filtration**
Der Artikel stellt den elektromagnetischen Filter hergestellt von ICEMENERG, und auch die Experimentergebnisse, die in Labor und unter Betriebsbedingungen gemacht wurden, dar.
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 151–156

DK 621.311.25 : 621.039

Pop, M. G. M., Manea, D. und *Ursu Ecaterina*: **Vergleichende Erforschung der Beeinflussung der quasistationären transitorischen und Stoss Betriebe über die Dampfgeneratorensfunktionsdauer von Kernkraftwerke**
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 157–162

DK 621.315.1.001.5

Gheorghiu I.: **Beitragen zur Dynamik der Luftleitungsdrähtebewegung bewirkt von Wind, an dem überwigenden Richten die Drähte entlang**
Die Ergebnisse erhalten durch die Rechnung der Kraftsdistribution und Windgeschwindigkeit, die die Leitungsdrähte in Gang bringt.
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 162–166

DK 628.977.004

Slavrescu, O. and *Dinulescu, C.*: **Energieeinsparung durch eine rationelle Verteilung des Lichtflusses**
Die Möglichkeiten die elektrische Energie zu ersparen durch die Applikation eines Beleuchtungsystems nicht-uniformen an dem Arbeitsplan, in verschiedenen Gebiete wobei die Beleuchtung benutzt wird (Wohnungsbeleuchtung, Büroräumen, Schulen, Handeln, Strassenbeleuchtung).
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 167–172

Alexe, Fl. und *Hart, V.*: **Studie über den Zusammenhang zwischen dem industriellen Zuwachs und dem Verbrauch an elektrischer Energie in der Industrie**
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 173–176

DK 621.311.1.001.1

Morfun, C. **Elektrifizierung des Mureş Distrikts**
Energetica 26 (1978), H. 4, S. 177–179

REZENSIONEN

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Națio al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Str. Doamnei 14 — Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabin tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru înt prinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul u exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I.P.I. c 328

41 4

1978 NOV 2.1

E 2039

MW

R ERĂLVA

5-6

energetica

VOLUMUL XXVI
BUCUREȘTI
MAI — IUNIE 1978

0 6 12 18 2

1978 OKT 3

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 5–6 mai – iunie

Cuprinsul

		Pag.
* * *	**Şedinţa de lucru a Colectivului de prognoză al Academiei R.S.R. cu tema „Energia în următoarele trei decenii"**	186–188
Ioan Ursu	**Energetica şi progresul tehnico-ştiinţific în următoarele trei decenii**	189–195
Tr. Cocârlă	**Consumul de energie şi economia de energie**	196–199
M. Cârdu	**Cu privire la programarea calculului termic al turbinelor cu abur**	200–204
D. Comşa, V. Maier şi M. Chindriş	**Algoritmi pentru calculul termic al echipamentelor termoenergetice**	204–208
E. Pololea	**Modelele şi parametrii maşinii sincrone. Partea I – Modele pentru identificarea parametrilor**	209–218
D. C. Ionescu, Gh. Bălan şi L. M. Goia	**Măsurarea rezistivităţii termice a solului**	218–224
CRONICĂ		
R. Sfichi	**A III-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice organizată de IRE Suceava**	225

Revista apare sub îndrumarea Consiliului ştiinţific al Institutului central de cercetări energetice

Ședința de lucru a Colectivului de prognoză al Academiei R.S.R. cu tema: "Energia în următoarele trei decenii"

Cu acest titlu s-au desfășurat, în ziua de 17 februarie 1978, sub egida Academiei Republicii Socialiste România, lucrările Colectivului de prognoză, condus de prof. dr. Mircea Malița, membru corespondent al Academiei, care și-au propus trecerea în revistă a problemelor actuale și de perspectivă ale energiei. Dezbaterile au fost organizate de conf. dr. ing. Călin Mihăileanu, director general al Institutului central de cercetări energetice, fiind găzduite de Casa Universitarilor din București.

Această dezbatere face parte dintr-un șir de dezbateri ale Colectivului de prognoză ce se înscriu în manifestările pregătitoare ale Conferinței Mondiale pentru Știință și Tehnologie din 1979.

Desfășurarea lucrărilor

Lucrările ședinței de lucru s-au desfășurat pe următoarele probleme :

I. Energia și dezvoltarea.

II. Resursele energetice clasice.

III. Sursele ,,noi''.

IV. Impactul energeticii.

V. Energetica și politica internațională.

Bucurîndu-se de participarea acad. prof. doc. Ioan Ursu, președintele Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, și a prof. dr. ing. Trandafir Cocârlă, ministrul energiei electrice, lucrările au reunit peste 200 de personalități marcante ale științei și tehnicii românești, prezentîndu-se un număr de 24 comunicări, care, împreună cu discuțiile pe care le-au ocazionat, au dezbătut unele idei de bază privind căile de urmat în energetica noastră, precum și aportul hotărîtor al științei și tehnologiei la dezvoltarea acesteia în următorii 30 de ani.

Așa cum se știe, conceptul de energetică s-a îmbogățit în cursul anilor, de la simpla producere și utilizare rațională a energiei electrice și termice, la acela de expresie cuprinzătoare a întregii activități economice vizînd producția bunurilor materiale și a serviciilor cu consum minim de resurse primare de energie.

Prin modul însuși în care comunicările au răspuns problemei aportului energiei în toate ramurile activității materiale, s-a reflectat schimbarea calității noțiunii de energie și noile ei implicații în activitatea umană. În momentul de față, resursele energetice primare sînt inegal răspîndite pe glob, consumul acestora prezentînd în timp o tendință de deplasare a ponderii dinspre statele apusene puternic industrializate spre statele lumii a treia: Astfel, dacă în anul 1950 circa 60—70% din consumul mondial de resurse energetice primare avea loc în statele apusene puternic industrializate, se prevede ca în anul 2000 pentru aceste state să nu fie mai mare de 20—25%, în timp ce în aceeași perioadă statele lumii a treia vor evolua de la un consum neglijabil la unul de peste 30%. Această tendință de dispersare relativă a necesităților energetice la scara întregului glob determină și va determina în viitor și mai mult necesitatea unui transfer de energie sub formă prelucrată sau sub formă de resursă primară care, după opiniile specialiștilor, va constitui una dintre problemele fundamentale ale sfîrșitului de secol. Dilema transportului energiei sub formă finită sau sub formă de resurse primare nu a fost încă rezolvată și diferă de la caz la caz, aceasta presupunînd o rezolvare globală de mare anvergură la care omenirea a rămas pînă în momentul de față corijentă. Criza energiei apare astfel ca o consecință a relațiilor necorespunzătoare dintre țările consumatoare și țările exportatoare de resurse energetice.

La noi în țară, liniile directoare ale energeticii în contextul crizei mondiale a energiei, care ne-a afectat în calitate de importator de resurse energetice primare, au fost : realizarea ritmului relativ înalt de creștere industrială (12,5% anual) cu un ritm cît mai mic de creștere a consumului de energie (5,4%), fără a afecta calitatea vieții și atragerea în circuitul economic a noi surse de energie.

În ceea ce privește prima linie directoare de dezvoltare a energeticii, putem spune că s-au făcut deja primii pași pentru eliminarea risipei în procesele tehnologice, înlocuirea proceselor tehnologice cu consum energetic ridicat, reorientarea activității industriale spre produse obținute cu consum energetic minim, îmbunătățirea activității de irigații, micșorarea consumurilor energetice în agricultură, mărirea randamentului energetic al transporturilor, prin dieselizare și electrificare, precum și remodelarea energetică a urbanizării. Astfel, în chimie, dacă în 1970 se consumau pentru obținerea unei tone de produs chimic finit 3,6 t c.c., în 1976 acest consum s-a redus la o valoare de numai 1,8—2 t c.c./t. În transporturi, trecerea de la tracțiunea cu abur la tracțiunea Diesel a adus o creștere a randamentului de utilizare a combustibilului de circa 5 ori (de la 6 la 30%), economia de energie obținută fiind echivalentă cu producția de cărbune a R.S.România în ultimii 2,5 ani. Electrificarea transporturilor va îmbunătăți în continuare cifrele menționate, Asupra potențialului de economisire a combustibilului primar în activitățile din agricultură, putem spune că raționalizarea irigațiilor poate reduce cu 25 — 30% consumurile de energie. Urbanistica și o construcție îngrijită a fondului locativ reduc cu 40—50% consumul de energie al construcțiilor, care este reprezentat în măsură covîrșitoare de căldura pentru apa menajeră și pentru încălzire. Ținînd seamă de faptul că din consumul total de energie al unei clădiri repartizat pe întreaga durată de viață a acesteia 5% este înglobat în construcția propriu-zisă, restul de 95% reprezentînd consumul ulterior de energie în scopuri casnice și pentru încălzire, rezultă că în construcții se pot obține reduceri de 40 — 50% ale consumului de energie printr-o construcție îngrijită și o izolare termică corespunzătoare a fondului locativ. Este demn de menționat că investiția suplimentară pentru o izolare adecvată a clădirilor se poate recupera în mai puțin de trei ani pe seama energiei economisite prin reducerea pierderilor.

Printre măsurile imediate care și-au dovedit pe deplin eficiența energetică a fost și mărirea exigenței față de întreținerea utilajului tehnologic în industria republicană, ceea ce a determinat o reducere a consumului de energie primară cu circa 10%.

A doua linie directoare, atragerea în circuitul economic a noi surse de energie, reprezintă o necesitate vitală în perspectiva viitorului imediat și în special îndepărtat. În acest sens, în țara noastră vom asista în anii care vin la o adevărată "tinerețe a cărbunelui", în cadrul căreia, în afară de preocupările deja cunoscute de realizare a unei centrale de 1000 MW pe șisturi bituminoase și de aplicare a unor procedee avantajoase de gazificare a cărbunilor în zăcămînt, se vor studia și posibilitățile de utilizare mai ,,curate", nepoluante a cărbunelui în centralele termoelectrice construite pe baza ciclurilor combinate gaze-abur, sau cu generatoare magnetohidrodinamice cuplate cu cazane clasice, precum și cu utilizarea industrială a sulfului rezultat în urma procesului de ardere.

Captarea energiei hidraulice a noi cursuri de apă pe teritoriul țării noastre se va desfășura în deceniile următoare într-un ritm deosebit de înalt, urmînd ca în ultimul deceniu al secolului tot potențialul hidro economic amenajabil al țării, de circa 24 miliarde kWh/an, însumînd contribuția a 855 centrale hidroelectrice cu o putere instalată de 13 000 MW, să fie valorificat. Aceasta va reprezenta circa 20% din puterea instalată a sistemului energetic național la acel moment.

Economia țării noastre are mari posibilități în utilizarea resurselor energetice secundare, ele nefiind astăzi decît puțin utilizate. Inventariind aceste resurse, putem spune că cele mai importante sînt : gazele calde rezultate ca deșeu industrial în procese siderurgice și chimice, ape reziduale cu potențial termic mediu și redus, deșeuri de diferite compoziții și stări de agregare. Acțiunea de inventariere a resurselor și în special de punere în evidență a metodelor de utilizare a acestora, începută odată cu Decretul 620/1973, prin alcătuirea de bilanțuri termice în întreprinderi, trebuie continuată cu mult mai multă vigoare, lucrările acestei ședințe de lucru propunînd înființarea unei biblioteci naționale de bilanțuri reale pe ramuri industriale. Au fost evidențiate direcții importante de utilizare a resurselor energetice secundare cu mare dezvoltare în deceniile ce urmează, ca : producerea combinată de energie electrică și căldură, extinderea utilizării pompelor de căldură și a deșeurilor combustibile de orice fel.

Utilizarea energiei reacțiilor de fisiune nucleară în centrale nuclearoelectrice așa-zise ,,clasice" va constitui o preocupare de mare importanță în energetica românească în anii următori. Pornind de la experiența deja acumulată cu cei 70 000 MW nucleari instalați pe întreg cuprinsul globului, specialiștii din țara noastră prevăd ca 20% din puterea electrică instalată în sistemul energetic național la nivelul anului 1990 să fie reprezentată de centrale nuclearoelectrice. Această perspectivă urmează tendința energeticii nucleare mondiale, care, dacă la nivelul anului 1970 preconiza ca în anul 2000 contribuția nucleară să reprezinte 50% din producția totală de energie, în 1977 se reevalua ca la sfîrșitul secolului în centralele nuclearoelectrice ar urma să se producă numai 35% din energia electrică și 15% din energia totală necesară omenirii. Este vorba, și la noi, ca și în întreaga lume, de o amînare importantă a programelor nucleare, fără o schimbare a esenței problemelor energetice actuale, amînare datorată necunoașterii în amănunțime la momentul primelor prognoze a fenomenelor nucleare în centrale nuclearoelectrice de mare putere și în special a concepției mijloacelor tehnice pentru controlul lor. S-au subapreciat, de asemenea, anumite aspecte ale protecției mediului ambiant, manifestîndu-se la acea vreme un optimism de pionerat în evaluarea aspectelor economice ale producției masive de centrale nuclearoelectrice și a implicațiilor lor. Totuși, se constată că, fără o ,,corectare" a ritmului actual de instalare a centralelor nucleare, cifra de 1 300 000 MW_e, estimați a fi instalați în anul 2000 în centrale nuclearoelectrice, va fi mult depășită, ridicînd procentul energeticii nucleare în producția totală de energie necesară omenirii la peste 20%.

Reevaluările economice din ultimul timp au determinat ca investiția specifică de 130 $/kW instalat pentru o centrală cu două unități a cîte 1000 MW_e, considerată o cifră adecvată la nivelul anului 1965, să ajungă în anul 1975 la valori în jur de 950—1200 $/kW instalat, creșteri foarte însemnate provenind din lipsurile înregistrate în evaluarea soluțiilor tehnice, cît și în calculele costurilor. Prevederile evoluției costului investiției specifice consideră că ultimele cifre citate sînt prețuri-plafon, în viitor acesta avînd o alură descrescătoare, urmînd ca la sfîrșitul secolului ele să reprezinte jumătate din valoarea actuală, lucru datorat în special experienței cîștigate și măririi gradului de standardizare. Meritul major al centralelor nuclearoelectrice, al unui consum specific de materie primă pe unitatea de energie produsă foarte mic, s-a păstrat, însă, asigurînd economicitatea de ansamblu a acestora. Astfel, dacă o centrală termoelectrică pe lignit are nevoie pentru producerea a 1 GWh de 1750 tone minereu, o centrală nucleară de tip HWR are nevoie, pentru aceeași producție de energie electrică, de 18,5 tone minereu. Dacă la centrala termoelectrică clasică greutatea în minereu reprezintă și greutatea combustibilului, pentru centralele nuclearoelectrice greutatea minereului de mai sus este transformată în ciclul de combustibil în numai 18,5 kg combustibil care se introduc în reactorul nuclear pentru a produce cantitatea de energie de 1 GWh.

Schimbarea majoră în domeniul tehnicii centralelor nuclearoelectrice o va constitui utilizarea cu preponderență, către sfîrșitul secolului, a reactoarelor rapide reproducătoare, răcite cu sodiu lichid, care vor permite o utilizare de 80 de ori mai intensivă, în comparație cu centralele nucleare ,,clasice", a rezervelor de combustibil nuclear cunoscute. Aceleași reactoare aflate în prezent în stadiu de experimentare industrială, la puteri de circa 300 MW_e, permit și rearderea combustibilului nuclear ,,ars" deja în centralele nucleare ,,clasice", ceea ce, numai pentru cantitățile de combustibil nuclear ars și acumulat pînă astăzi, echivalează cu eliberarea energiei prin ardere a producției de țiței transportată la debit nominal timp de 100 ani de actuala conductă din Alaska. Sînt deja în construcție centrale nucleare cu reactoare rapide reproducătoare de puteri 1000 MW_e (tipul Super-Phenix), la prețul acceptabil de 2500 $/kW instalat.

Totuși, speranța majoră a energeticienilor, neîmplinită încă, o reprezintă realizarea reactoarelor cu fuziune, care vor putea realiza visul dintotdeauna al acestora : o sursă practic inepuizabilă de energie, datorită faptului că în natură există rezerve de 10^{17} tone deuteriu, combustibil de bază într-un astfel de reactor. Fuziunea nucleară, încă la fază de laborator, ridică astăzi probleme insurmontabile din punct de vedere tehnologic și de material. Se pare că fezabilitatea experimentală a procedeului va putea fi dovedită de-abia către sfîrșitul secolului, de acolo pînă la instalația industrială urmînd încă drumul spinos al cîtorva decenii de căutări.

Lupta de diversificare a resurselor energetice, consecință firească a cunoașterii mărimii limitate a resurselor clasice, a determinat apariția în anii din urmă a unor preocupări privind valorificarea unor surse energetice așa-zis neconvenționale, cum ar fi energia solară, eoliană, geotermică, a valurilor și bioconversia. Utilizarea energiei solare reprezintă o preocupare de primă mărime la noi și în străinătate, determinată de faptul că este o sursă gratuită și inepuizabilă. Valorificarea ei cea mai curentă este pentru producerea de căldură de joasă temperatură folosită în încălzire, în procese termice în industrie și în agricultură. În R.S.România insolația medie este de 110 zile pe an, ceea ce a permis elaborarea unor proiecte pentru încălzirea în 1985 a echivalentului termic a 100 000 apartamente convenționale și în 1990 utilizări complexe care să permită economisirea a 2.10^6 t c.c. anual. Cu toate aceste eforturi, în R.S.România, ca și în întreaga lume, contribuția energiei solare în balanța energetică nu va depăși 1,2% la nivelul anului 2000, egal, așadar, cu procentul actual de utilizare a energiei nucleare din producția de energie mondială. O contribuție tot atît de mare în balanța energetică mondială se prevede să aducă pînă în anul 2000 și energia geotermică, celelalte forme de energie neconvențională enumerate mai sus urmînd să intervină izolat și în procente mult mai reduse doar în balanța energetică a țărilor la care astfel de utilizări se vor dovedi economice.

Bioconversia, adică conversia pe cale biologică a energiei solare, este privită de asemenea cu mult interes de către specialiști, încercări în curs dovedind capacitatea de stocare a energiei în biomasa vegetală, precum și posibilitatea transformării acesteia în etanol, substanță combustibilă. Printre cele mai ambițioase planuri de acest gen se situează acela de

cultivare a 20% din suprafața cultivabilă a Braziliei cu trestie de zahăr, din care se poate extrage suficient combustibil pentru înlocuirea celui importat de această țară la nivelul anului 1990.

Producerea pe scară largă a energiei necesare omenirii în deceniile următoare nu se poate face fără efecte ecologice adverse, fără modificări local climatice, freatice, ale suprafeței scoarței pămîntului, care trebuie evaluate cu grijă și pe cît posibil micșorate ca efect. De obicei, în producerea de energie știm să calculăm foarte bine ceea ce cîștigăm, dar este imperios necesar să știm și ceea ce pierdem ecologic în acest proces, cu atît mai mult cu cît pierderile pot să fie și iremediabile și au adesea implicații sociale greu de evaluat. Utilizarea combustibililor solizi în centrale va determina, de exemplu, în S.U.A. în următorii 20 de ani o creștere de peste 12 ori a bioxidului de sulf, particulele în suspensie provenite din fumul acestora scăzînd puterea de radiație a soarelui, efect însă contracarat parțial de acumularea bioxidului de carbon în atmosferă, care se prevede a se dubla în următorii 23 ani pe ansamblul biosferei. Deși s-ar părea că centralele hidroelectrice nu implică nici un deranj al naturii, se citează nenumărate cazuri de baraje care au creat modificări locale climatice, freatice și seismice, cu urmări dintre cele mai neașteptate asupra comunității umane înconjurătoare.

Extragerea energiei geotermice, aparent inofensivă, infestează aerul prin conținutul ridicat de hidrogen sulfurat și bor pe care îl conține aburul scos din adîncuri. Apa fierbinte de adîncime, prin conținutul foarte ridicat de săruri, determină modificări ecologice neevidențiate decît după ani de exploatare intensivă a unor puțuri geotermale.

Utilizarea energiei nucleare duce, în mod paradoxal, la efecte mult mai puțin nocive decît toate cele prezentate mai sus, cu condiția ca aceasta să se desfășoare normal. Singura problemă mai deosebită este poluarea radioactivă datorită deșeurilor solide, pentru care în prezent s-au găsit soluții de depozitare sigură, care cuprind și vitrifierea acestora. În această situație, înclinăm să credem că protestul ecologic împotriva energiei nucleare este mai mult psihoză decît realitate.

Fiind adînc implicată în activitatea economică a fiecărei țări, energia este și în viitor va fi tot mai mult parte componentă a politicii economice a țării respective, cu rezonanțe certe în politica externă a acesteia. Arena politică internațională este martora în ultimul timp a tot mai multe confruntări din necesități energetice ale unor state sau grupări de state, printre care notorie este chiar criza petrolului.

Diplomația nucleară, derivat firesc al utilizării energiei atomice în scopuri pașnice și militare, a fost după cel de-al doilea război mondial instrumentul unor decizii de maximă importanță pentru toate statele lumii. Menționăm astfel tratatul de neproliferare a armelor nucleare, semnat și de țara noastră, acordul de transfer al tehnologiilor nucleare de la țările producătoare de echipament și tehnici nucleare către țările doritoare să folosească pașnic energia nucleară, cu utilizarea unor măsuri de control eficient al corectei folosiri a tehnicilor transferate, etc.

Dezbaterile din cadrul lucrărilor au subliniat aportul țării noastre la diplomația nucleară și energetică a lumii, precum și problemele principale ale acesteia și modul preconizat de rezolvare.

Concluzii

Concluziile lucrărilor au evidențiat o caracteristică de bază pe care o cîștigă energetica în întreaga lume, și anume raționalitatea, adică tendința spre optimizare și aplicare judicioasă a tuturor soluțiilor vizînd energia utilizate concomitent, după parcurgerea unui spectru de filtre selective, care să analizeze totalitatea implicațiilor în folosirea unui anume sistem energetic.

Lucrările prezentate cu această ocazie vor fi cuprinse într-un volum ce va apărea în Editura Academiei la sfîrșitul anului 1978, volum care, așa cum aprecia prof. dr. Mircea Malița la închiderea lucrărilor ședinței : ,,sperăm să stea pe masa multor foruri de decizie, a multor cercetători și a publicului larg, setos de a cunoaște mai aprofundat acest subiect, care aparține celei mai impresionante ramuri ale investigației în zilele noastre''.

Revista ,,Energetica'' publică în acest număr lucrările prezentate de acad. prof. Ioan Ursu și de prof. dr. ing. Trandafir Cocârlă.

dr. ing. **M.G.M. Pop,**
ing. **Ecaterina Ursu,**
ing. **D. Manea**

LISTA LUCRĂRILOR PREZENTATE

Prof. dr. Mircea Malița : Cuvînt de deschidere

Conf. dr. ing. Călin Mihăileanu : Suportul energetic al viitorului

I. Energia și dezvoltarea

1. Prof. dr. ing. Trandafir Cocârlă : Consumul de energie și economia de energie.
2. Conf. ing. Costin Moțoiu : Dezvoltarea economiei naționale în fața problemei energiei.
3. Dr. Aurel Iancu, ec. Radu Burdea, ing. Ștefan Răgălie : Structura producției industriale sub incidența energiei.
4. Dr. ing. Gheorghe Turbuț : Energetica și transporturile.
5. Dr. doc. Paul Dimo : Sistemele energetice : amplificare, restructurare, involuție ?

II. Resursele energetice clasice

6. Dr. ing. Teodor Popa și ing. D. Mănescu : Noua tinerețe a cărbunelui.
7. Dr. doc. Dumitru Paraschiv : Lupta pentru hidrocarburi.
8. Ing. Alexandru Nourescu : Limitele hidroenergiei.
9. ing. Nelu Vasilescu : Energetica nucleară ,,clasică'' — promisiuni, realități, implicații.
10. Ing. Ioan V. Herescu și dr. ing. Cezar Mereuță : Utilizarea resurselor energetice secundare

III. Sursele ,,noi''

11. Prof. dr. Călin Bețliu și conf. dr. ing. Ionel Purica : Două mari așteptări ale energeticii nucleare : reactorul reproducător rapid și fuziunea.
12. Dr. ing. Constantin Teodorescu : De la energia soarelui la utilizarea ei în practică.
13. Dr. ing. Dumitru Goidea : Hidrogenul, metanolul, amoniacul vor restructura energetica ?
14. Prof. dr. doc. Gheorghe Zarnea : Energia și tehnologiile biologice.
15. Ing. Constantin Popescu și ing. Alexandru Florescu : Diversitatea și ponderile surselor neconvenționale.

IV. Impactul energeticii

16. Acad. prof. dr. doc. Ioan Ursu : Energetica și progresul tehnico-științific în următoarele trei decenii.
17. Ing. Ion Crișan : Condiționări tehnologice ale dezvoltării energeticii.
18. Dr. Vladimir Krasnosselski și ing. Dumitru Preda : Energetica și calitatea vieții
19. Dr. Marcian Bleahu și dr. Maria Maftei : Energia și apărarea naturii
20. Dr. ing. Adrian Gheorghe și dr. ing. Petre Roman : Posibilități-opțiuni-decizii : modele și metode de stabilire a strategiilor energetice.
21. Prof. dr. Nicolae Belli : Efortul financiar pentru energetică și eficiența economică a investițiilor în energetică.

V. Energetica și politica internațională

22. Ing. Constantin Lazăr : Resursele energetice mondiale și criza energiei.
23. Dr. Romulus Neagu : Diplomația nucleară
24. Prof. dr. doc. Vasile I. Nitu : Transferul de tehnologie și cooperarea internațională în energetică.

Energetica și progresul tehnico-științific în următoarele trei decenii

Acad. prof. **Ioan Ursu**,
președintele Consiliului Național
pentru Știință și Tehnologie

„*Criteriul economiei de combustibil* — arăta secretarul general al partidului nostru, tovarășul Nicolae Ceaușescu — *trebuie să guverneze însăși concepția generală a dezvoltării în perspectivă a economiei noastre naționale, principiile pe baza cărora vom acționa pentru profilarea producției de bunuri materiale în concordanță cu realitățile și cerințele epocii noastre*".

Afirmată în noiembrie 1973, într-o vreme în care pe alte meridiane se căutau soluții expeditive pentru o criză ce refuza să fie tratată cu ușurință, această teză cristaliza, încă o dată, o orientare permanentă a partidului nostru spre o întemeiere științifică a construcției revoluționare, socialiste, a viitorului, pe evaluarea critică și realistă a prezentului. În lumina acestei concepții, promovată cu fermitate de Programul partidului — elaborat din inițiativa și sub îndrumarea tovarășului Nicolae Ceaușescu — vederile noastre asupra energeticii au cunoscut importante restructurări. Astfel, ne-am însușit, treptat, ideea că în prezent energetica este pe cale să depășească statutul ei inițial, de ramură a industriei; ea este absorbită cu putere într-un complex sistem de activități economico-sociale, tehnico-științifice și politico-diplomatice, care au drept țel nu numai *asigurarea, pe termen lung, a necesarului de energie al unei societăți*, dar și *proiectarea rațională a acestui necesar pe baza concepției despre creștere și dezvoltare a acesteia*. Noua înțelegere a energeticii corespunde trecerii, semnalată, dar nu încheiată, odată cu „criza petrolului" a anilor '73 — '75, de la abundență la austeritate, de la confort la alertă, de la problemele unei întreprinderi la problemele unor țări întregi, ale unor „lumi" — I-a, a II-a, a III-a, ale omenirii, pe scurt — de la element la sistem.

După cum se știe, „criza energiei" este o nouă stare de fapt și de spirit, exprimată prin constatarea că resursele clasice sînt limitate, neuniform repartizate și necorespunzător gospodărite, într-o lume în creștere, dezvoltare și emancipare națională și socială. „Criza energiei" este o confruntare și un prilej, pe fundalul cărora pot să apară mari conflicte sau, așa cum dorim, istorice concilieri. Schimbarea de mentalitate la care ea ne obligă este radicală și trebuie să o acceptăm ca atare. Trecem, de fapt, de la un mod de abordare a problemei energiei la altul, de la o premisă la alta, *de la o condiționare a energeticii la alta*.

Într-adevăr, în situația veche, a resurselor energetice considerate abundente, tratate ca și cum ar fi nelimitate, problema asigurării necesarului de energie al unei economii revenea, practic, la asigurarea și realizarea efectivă a unui volum de investiții, calculabil, pentru conturarea și apoi pentru introducerea în circuit a unor rezerve. Condiționarea energeticii era, deci, în primul rînd tehnico-economică. În ipoteza nouă, a unor resurse limitate, asigurarea necesarului de energie pe termen lung *depinde hotărîtor de un uriaș efort de cercetare științifică și inginerie tehnologică, menit să creeze și să aplice în practică noi soluții de complementare și chiar de înlocuire*. Noua condiționare a energeticii este, deci, în mod esențial, *tehnico-științifică*, căci astăzi sîntem în situația de a ne gîndi de zece ori înainte de a cheltui odată. În condițiile „crizei energiei", în sensul pe care i l-am dat aici, știința și tehnologia se afirmă în energetică cu o autoritate sporită. Au mai făcut-o odată, cu Carnot și alții, la începuturile revoluției industriale. O fac din nou, prin mii de truditori ai fizicii, chimiei, biologiei, matematicii, științelor economice și sociale, teoriei aplicate a sistemelor, astăzi, în plină revoluție tehnico-științifică.

Această împrejurare confirmă încă odată, pe un exemplu concret și puternic, justețea concepției revoluționare a partidului nostru, a tovarășului Nicolae Ceaușescu, secretarul general al partidului, care rezervă științei și tehnologiei un rol de frunte în elaborarea, planificarea și realizarea soluțiilor practice ale construcției economico-sociale socialiste în țara noastră, în cincinalul actual și în perspectivă. În această concepție, față cu energetica și problemele ei, știința trebuie să critice amănunțit trecutul, să evalueze corect prezentul, să propună și să susțină soluții pentru viitor. Să analizeze un trecut de falsă abundență, al cărui produs este actuala structură tehnologică a societăților industriale, marcată de dependența față de hidrocarburi — petrolul și gazele naturale; să descopere, în actuala alcătuire a industriei și modului de viață, limitele acestei dependențe, dincolo de care sînt posibile reașezările, trecerea la alt mod de a gospodări energia, liber de neajunsurile actuale care sînt „monocultura energetică" a hidrocarburilor și o gravă risipă; să ofere soluții, să filtreze și să aleagă soluții, să participe nemijlocit la elaborarea deciziilor și la implementarea lor, planificînd și convingînd despre necesitatea sacrificiilor de azi pentru siguranța de mîine.

Ne referim aici la sarcina cea mai exigentă a energeticii de azi, privind asigurarea necesarului de energie *pe termen lung*. Prin aceasta nu excludem perioada pe termen scurt, pe care o parcurgem, și cea pe termen mediu, pe care o prevedem. Pe termen scurt, trebuie „să ne

descurcăm". Pe termen mediu, trebuie însă să trecem decişi la pregătirea soluţiilor de durată. Căci, pe cît de utile şi eficiente sînt măsurile organizatorice de economisire a energiei astăzi, pe atît de necesară este găsirea unor soluţii noi, acoperitoare pentru nevoile de mîine. În acest sens, ştiinţa trebuie să răspundă cerinţelor pe care i le pun tehnica şi economia, pe termen scurt, pînă în 1980—1985, şi să-şi planifice de pe acum efortul pe care trebuie să-l facă pe termen mediu mai ales în deceniul următor şi în continuare, pentru a asigura implementarea soluţiilor de durată. Sub presiunea faptelor economice şi politice, pe de o parte, sub influenţa, reîntărită, a ştiinţei pe de altă parte, energetica dobîndeşte treptat noi calităţi — o superioară forţă de analiză, un discernămînt mai adînc fundamentat. Aceasta se exprimă în creşterea ponderii preocupărilor *de strategie* în activitatea energeticianului, în tendinţa spre *evaluarea critică* a tuturor, a oricăror nevoi şi soluţii de aprovizionare şi consum de energie, vechi sau noi ; în stăruinţa de *optimizare* a acestora ; în înclinarea spre căutarea şi aplicarea judicioasă a tuturor *constrîngerilor*, pentru filtrarea soluţiilor şi găsirea, astfel, a *alternativelor* reale. Prin aceasta energetica s-a angajat într-o dezvoltare calitativ superioară.

Văzută astfel, încărcată cu răspunderea viitorului şi cu virtutea şi povara unor noi exigenţe, dezvoltarea energeticii ni se înfăţişează ca un *proces*, condiţionat de aportul şi constrîngerile ştiinţei, tehnologiei, economiei şi vieţii sociale.

Ilustraţia din figura 1 încearcă să deslueşască această idee.

Asistăm, astăzi, la un adevărat torent de idei în domeniul energeticii. Ele provin din rîndurile profesioniştilor ştiinţei şi tehnicii, cît şi, expresie a democratizării ştiinţelor, din mediile producătorilor direcţi, stimulaţi de semnele „crizei energiei" să gîndească şi să înfăptuiască. Un prim rol al ştiinţei este, incontestabil, acela de a produce idei noi pentru energetică, fie că este vorba de concepţii şi tehnici de conservare a energiei, de noi tipuri sau rezerve de materii prime energetice, de noi tehnologii de producere, stocare, transport, distribuţie şi utilizare a energiei.

Toate acestea formează cîmpul vast şi în continuă extindere al propunerilor. La dezvoltarea sa contribuie un mare număr de ştiinţe într-un efort *multidisciplinar*. Alături de energetică, înţeleasă ca una din ştiinţele tehnice de bază, o însemnată contribuţie o aduc fizica, chimia şi biologia — ca ştiinţe ce explică şi prezic procese energetice fundamentale pentru producerea, conversia, stocarea, transportul, distribuţia, utilizarea şi reciclarea energiei ; la rîndul ei, matematica, ştiinţa generală, este implicată permanent şi universal în acest efort.

În calea proliferării sale şi a presiunii pe care o exercită asupra sistemului tehnico-economic constituit, în care năzuieşte să pătrundă,

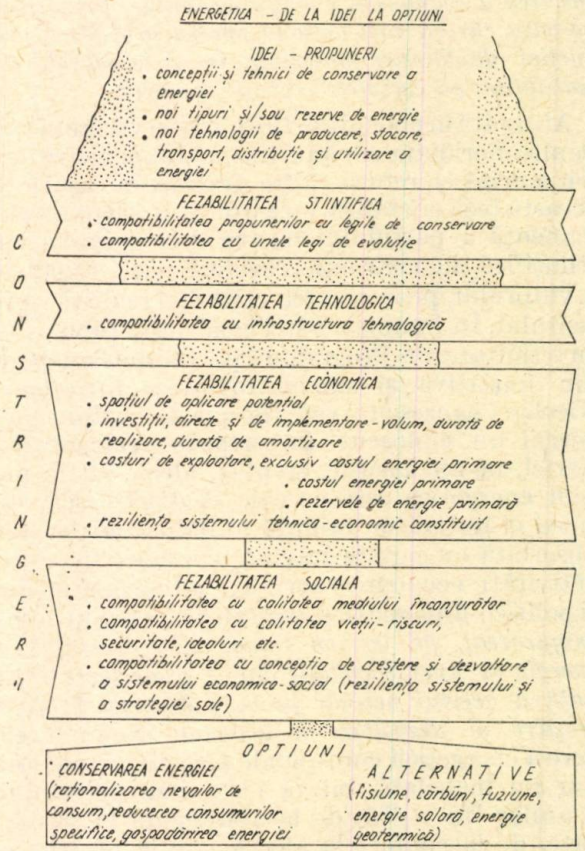


Fig. 1. Energetica — de la idei la opţiuni.

mulţimea propunerilor întîlneşte o serie întreagă de *constrîngeri*. Acestea exercită o severă şi sănătoasă funcţie de filtrare a ideilor pe baza unor criterii impuse de ştiinţă, tehnologie, economie şi viaţa socială, de pe urma cărora numărul posibilităţilor se va micşora mereu, într-o etapă dată, pînă la alegerea soluţiilor care, întrunind toate exigenţele unui moment dat, sînt ridicate la nivelul de opţiuni, de decizii.

Am ales dintre acestea, într-o încercare de sistematizare, cîteva din constrîngerile ştiinţei, tehnologiei, economiei şi vieţii sociale. De la bun început atrage atenţia faptul că raţionamentele aplicate aici dezvoltării energeticii se

pot aplica, cu adaptări corespunzătoare, și altor domenii de activitate, altor laturi ale progresului tehnic și economic, căci orice progres, așa cum știm, presupune un proces de transformare a ideilor în realități, a propunerilor în decizii.

Primul nivel de filtrare îl reprezintă *constrîngerile științifice*: orice soluție de manipulare a energiei trebuie să fie compatibilă cu legile de conservare ce guvernează natura. Dintre acestea, fizica oferă legea conservării energiei, a masei, a impulsului, a momentului cinetic, a sarcinii electrice, precum și a sarcinii barionice și altor numere cuantice mai puțin cunoscute, dar care reflectă cu sporită acuitate realitatea materială.

Un rol important, dar distinct în testarea fezabilității unor soluții energetice îl are și respectarea legilor de evoluție generală, descoperite de fizică, de exemplu, în cadrul termodinamicii (legea creșterii entropiei în procesele nestatice etc.). Atrage atenția faptul că știința, stimulînd proliferarea în cîmpul posibilităților, exercită în cadrul filtrului de fezabilitate științifică, despre care vorbim, o funcție de cenzură. Aceasta trebuie slujită cu rigoare, dar fără patimă, fără cultivarea unor false elitisme, care ar transforma-o într-un factor de inhibare a progresului.

„*După părerea mea* — arăta tovarășul Nicolae Ceaușescu — *pericolul nu constă în faptul că în cursul unei cercetări se va ajunge de către unul sau altul la o concluzie eronată... Este inevitabil aceasta și nimeni în lume pînă acum — și cred că nici în viitor, inclusiv în societatea comunistă — nu va putea pretinde că tot ceea ce se întreprinde va avea numai rezultate bune. Știința nu se poate dezvolta decît numai printr-o confruntare liberă a părerilor, a ideilor. Nu de aceasta trebuie să ne fie teamă; principala teamă și principalul pericol constau în a nu desfășura activitatea de cercetare datorită fricii de a nu greși, copiind ceea ce fac alții*". De pe această poziție este necesar să dezvoltăm dorința de mai bine și spiritul critic al fiecărui om al muncii înclinat spre creația tehnico-științifică, îndemnîndu-l la perfecționarea pregătirii sale profesionale și dezvoltîndu-i însușirea de a învăța, în permanență, inclusiv din greșeli și eșecuri. Aplecarea atentă, obositoare uneori, asupra oricăror încercări care prezintă semne de consistență și afirmă rezultate noi este prețul pe care trebuie să-l plătim, cu conștiinciozitate și convingere, pătrunderii noului, în această epocă de căutări.

În urma filtrului științific, fluxul propunerilor se va găsi considerabil împuținat. Posibilitățile care au răzbătut au acum girul legilor naturii. Aceasta, în sine, nu le transformă automat în opțiuni, în soluții. Ele vor parcuge un nou filtru — cel al exigențelor *tehnologice*, adică al compatibilității cu structura și posibilitățile tehnologice ale economiei într-o etapă dată. Astfel, o soluție acceptată științific se poate dovedi acceptabilă tehnologic numai *dacă* s-ar putea elabora materiale rezistente în anumite condiții extreme; sau *dacă* ar putea fi stăpînite un număr mare de procese simultane; sau *dacă* gradul de precizie la prelucrare al unor piese ar fi mult mai mare; sau *dacă* materia primă de bază ar fi lipsită de o anumită impuritate etc. Este limpede că constrîngerile tehnologice au numai o valoare temporară și relativă; aceasta nu le face însă mai puțin dure și necesare în eliminarea multor soluții atrăgătoare din punct de vedere strict științific. În lumina exigențelor mari ale etapei actuale, formulate cu claritate de partidul nostru, este necesar ca atitudinea pe care știința și slujitorii ei trebuie să o adopte față de cerințele tehnologiei să se bazeze pe unele repere ca recunoașterea și respectarea valorii acestora, într-o etapă dată; încercarea de a preveni obiecțiile tehnice, prin pregătirea unor soluții științifice cît mai compatibile cu posibilități tehnologice existente; pentru aceasta, omul de știință se va iniția din timp în tehnologii, standarde, normative, investiții, eficiență economică etc.; efortul de a îmbunătăți mereu structura tehnologică însăși, pregătind, prin acumulări cantitative, salturi calitative care să deschidă accesul unor noi soluții acceptate științific. Se poate evoca aici, ca exemplu care dovedește eficiența acestei atitudini, pătrunderea în economie a aplicațiilor pașnice ale energiei nucleare, a microelectronicii, a tehnicilor spațiale.

Restrînsă și mai mult în urma confruntării cu cerințele tehnologiei, mulțimea propunerilor de soluții întîlnește *constrîngerile economice*. Aceasta este o etapă importantă, în cadrul căreia spiritul științific trebuie să-și exercite din plin influența, pentru a preveni excesele ce pot rezulta cu ușurință din aplicarea nejudicioasă a unor criterii. Aceasta revine, așa cum ne învață partidul, la a supune în permanență realitatea economică filtrului științelor economice, precum și imperativelor social-politice. După cum se știe, pătrunderea în practică a unor soluții este condiționată între altele de criterii economice ca mărimea spațiului de aplicare, dimensiunile pieței; volumul investițiilor, atît al celor directe, în materializarea soluției propriu-zise, cît și al celor de implementare, necesare adaptării sistemului la noua soluție; durata inerentă de realizare a investițiilor; durata de amortizare; cheltuielile de exploatare; rezervele de energie

primară la care se referă investiţia etc. În contextul energeticii actuale, bazată pe hidrocarburi, s-au acceptat ca eficiente economic soluţiile care dispun de o piaţă largă, presupun investiţii moderate, realizabile rapid, ce se amortizează în termen scurt, dar care exploatează rezerve primare supuse unei epuizări rapide — în 20—50 de ani — în condiţii de creştere continuă a costurilor combustibililor primari. Persistarea într-o asemenea optică ar defavoriza, deocamdată, noile surse de energie, ca energia solară, a vînturilor, sau geotermală. Într-adevăr, domeniul de aplicare a energiei solare, de exemplu, pe termen scurt şi mediu, este limitat la producerea locală de energie de potenţial scăzut, utilizarea ei în producerea masivă a energiei secundare (electrice sau gaze sintetice — hidrogen, etc.) fiind de domeniul unui viitor mai îndepărtat; investiţiile sînt mari şi reclamă durate de instalare mari, din cauza lipsei momentane a unor mari industrii producătoare de utilaje specifice; amortizările se fac în intervale de peste 10—15 ani, dar rezervele sînt practic inepuizabile, iar costul energiei primare este nul! Un alt exemplu de condiţionare economică a aprecierilor şi deciziilor în energetică îl reprezintă actualul mod de definire a rezervelor de energie.

Tabelul 1

Resursele de uraniu ale lumii*)

(în unităţi $Q = 10^{18}$ BTU = $3{,}35.10^7$ MW.an)

	Depozite cunoscute		Resurse neevaluate şi nedescoperite	
	Reactorii actuali	Reactori reproducători	Reactorii actuali	Reactori reproducători
pînă la 10 $/livra de U_3O_8	0,7	70	30	circa 3000
pînă la 100 $/livra de U_3O_8	—	—	$(2-10).10^2$	$(2-10).10^4$
pînă la 500 $/livra de U_3O_8	—	—	5.10^4	5.10^6
uraniu extras din apa mărilor (circa 25 $/livra de U_3O_8	1.10^2	1.10^4	3.10^3	3.10^5

*) dolari S.U.A., la sfîrşitul anilor '60, presupunînd un factor de conversie de 7.10^{11} BTU/907 kg de U_3O_8 pentru reactorii actuali şi 7.10^{13} BTU/907 kg de U_3O_8 pentru reactorii reproducători.

Tabelul 1 arată remarcabila elasticitate a acestei noţiuni în cazul rezervelor de uraniu. Este limpede că dacă se acceptă drept „resurse economic exploatabile" numai minereurile cu conţinuturi utile bogate, care permit o extracţie relativ ieftină a combustibilului nuclear, volumul „rezervelor" este sever limitat. Aşa cum ştim însă, în lumina orientărilor Programului partidului nostru, este necesar şi inevitabil ca în viitor să ne adresăm şi resurselor cu conţinuturi utile sărace — de fapt din ce în ce mai sărace —, pentru care extracţia utilului este mai costisitoare. Dacă, cu toate eforturile ştiinţei şi tehnicii, va trebui să acceptăm în viitor o creştere cu un ordin de mărime a costurilor de extracţie a combustibilului nuclear, din cauza calităţii tot mai slabe a materiilor prime, vom constata că rezervele de uraniu ale lumii sînt de 100 sau chiar de 1000 de ori

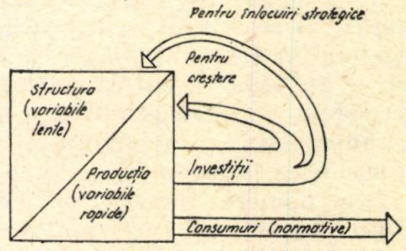


Fig. 2. Model dinamic pentru o economie în curs de dezvoltare.

mai mari! Este o datorie a economiştilor să pună toate argumentele în perspectiva lor justă, cunoscînd că întreaga evoluţie a energeticii năzuieşte spre surse, pe cît posibil, nelimitate de energie primară (ca energia solară, de exemplu), înţelegînd astfel *necesitatea de a cheltui încă de azi cu chibzuinţă, gospodăreşte, pentru asigurarea suficienţei energetice a zilei de mîine.*

Însuşirea unei atitudini progresiste faţă de utilizarea energiei este înlesnită de ramuri şi subramuri ale ştiinţelor în plină afirmare, între care şi *teoria aplicată a sistemelor.* Folosită în mod creator la problematica dezvoltării, teoria aplicată a sistemelor poate reprezenta astăzi o puternică unealtă de disciplinare şi, în acelaşi timp, de stimulare a gîndirii teoreticianului şi practicianului. Ea produce concepte, modele şi programe de calcul a căror folosire creează mari momente ale adevărului, pline de învăţăminte. Vom evoca aici, de exemplu, extensia dată distincţiei făcute de Thom între „variabilele lente" şi cele „rapide" ale unui sistem, la descrierea raportului dintre structura unui sistem economico-social (descriptibilă prin variabilele lente) şi producţia asigurată de acest sistem (caracterizată prin indicatorii de producţie ca variabile rapide). Un asemenea model permite analiza efectelor ratei investiţiilor pentru creştere, a celor pentru dezvoltări şi schimbări strategice ale structurii, orientînd, totodată, normarea şi dirijarea corespunzătoare a consumurilor. Interesul unor asemenea studii, în lumina concepţiei noastre asupra fondului de acumulare, este evident. Ele pot fundamenta în permanenţă modul de transpunere în viaţă a strategiei partidului nostru de constituire şi alocare a unui însemnat fond de acumulare pentru creştere şi dezvoltare, însoţit de o dimensionare raţională a consumurilor, într-un spirit de economie, de eliminare a risipei, de bună gospodărire.

În acelaşi context, al proiectării ştiinţifice a strategiilor dezvoltării, se analizează şi se valorifică conceptul de *rezilienţă* a sistemelor

(energetice, tehnico-economice, economico-sociale etc.), care defineşte capacitatea unui sistem de a asimila modificări structurale şi de a rezista la solicitări care, schimbîndu-i structura, nu-i modifică integritatea şi esenţa.

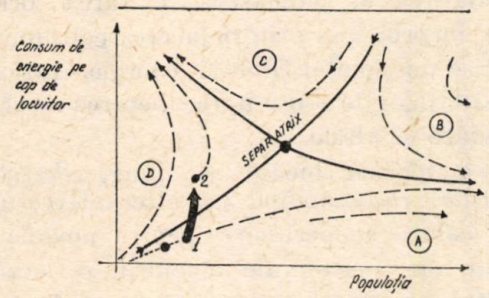


Fig. 3. Energie, evoluţie şi rezilienţă, pentru un sistem economico-social — un exemplu simplu.

Iată un exemplu de evaluare a rezilienţei unui sistem (o economie naţională, de pildă) în termenii a doi parametri — populaţia şi consumul de energie pe locuitor. Planul definit de cei doi parametri alcătuieşte un spaţiu al stărilor sistemului, marcat de tendinţele de evoluţie indicate de săgeţi. Spaţiul stărilor este separat în două zone de tendinţe opuse, A + B şi C + D. În zona A + B sistemul se îndreaptă spre o creştere indefinită a populaţiei şi un consum stabil de energie pe locuitor, în timp ce în zona C+ D populaţia tinde să scadă la zero, consumul de energie pe locuitor crescînd continuu. O privire atentă dezvăluie semnificaţiile, uneori dramatice, ale predicţiilor acestui model: într-adevăr, dacă o societate care se dezvoltă sănătos, cu o populaţie în creştere şi un consum de energie pe locuitor în creştere, ajunsă în situaţia 1, ajunge dintr-o dată, în urma descoperirii masive de resurse de ţiţei, de pildă, la un consum prea mare de energie pe locuitor care o plasează în situaţia 2, mutaţiile în structura ei economică, suprastructură, mediul înconjurător şi stilul de viaţă pot fi atît de mari, încît populaţia poate începe să scadă din ce în ce mai mult, cu urmări grave pentru viitorul acelei societăţi. Într-o asemenea situaţie se spune că „limita de rezilienţă a sistemului" a fost depăşită.

Deşi simplificat la maximum, acest model de rezilienţă poate fi analizat cu folos pentru forţa lui de sugestie. Să adăugăm că modelele realiste, mult mai elaborate şi mai eficiente, de evaluare a rezilienţei sistemelor, au la bază, între altele, o ramură modernă a matematicilor — topologia diferenţială.

Cernute sub aspectul acceptibilităţii economice, propunerile de soluţii se supun, apoi, *constrîngerilor sociale*. Vom menţiona aici criteriul compatibilităţii soluţiilor propuse cu calitatea mediului înconjurător sau cu calitatea vieţii, în a căror analiză ştiinţa sistemelor, sprijinită de ştiinţele naturii — fizica, chimia, biologia —, ştiinţele de frontieră dintre acestea, apoi de sociologie, psihologie şi altele contribuie împreună la evaluarea unor noi parametri complecşi şi încărcaţi de sensuri, dar cuantificabili, ca *riscul*, *securitatea*, *garanţiile*, *idealurile* etc. După cum se ştie, orice soluţie tehnică aplicată pe scară mare are şi efecte secundare asupra mediului înconjurător sau a stilului de muncă şi de viaţă. Fără să intrăm în amănunte, putem aminti aici dezbaterile în curs asupra efectelor posibile ale creşterii conţinutului de bioxid de carbon al atmosferei, rezultat din arderea cărbunilor şi a celorlalţi combustibili fosili, asupra climei planetei, sau a evacuării masive de căldură de origine nucleară; problema stocării deşeurilor radioactive de la centralele nuclearoelectrice; problemele ridicate de ciclul combustibililor nucleari; problema raportului optim dintre alimentarea centralizată şi cea locală cu energie ş.a. În concepţia partidului nostru, *toate aceste probleme şi multe altele trebuie abordate cu seriozitate şi spirit de răspundere, analizînd ştiinţific toate implicaţiile, fără exagerări optimiste, dar nici pesimiste*. Pe acest teren, al analizei implicaţiilor social-politice ale strategiilor tehnologice şi economice, se poate verifica astăzi trăinicia angajamentului unei naţiuni faţă de progres şi dezvoltare, faţă de idealurile ei de bunăstare în condiţii echitabile pentru toţi.

De aceea am lăsat înadins la urmă acest criteriu de bază, care realizează, de fapt, legătura organică, recunoscută astăzi unanim, dintre energie şi dezvoltare: *compatibilitatea soluţiilor de asigurare pe termen lung a necesarului de energie cu concepţia de creştere şi dezvoltare a unei societăţi date*.

În această privinţă, putem observa că, în noua ei viziune sistemică, energetica contemporană adoptă, simultan sau pe rînd, două atitudini, sau stiluri de lucru: o atitudine prevede căutarea soluţiilor care să ofere societăţii resurse pe măsura unor consumuri preliminate; în paralel, se întăreşte şi tendinţa de a îmbunătăţi modelele de dezvoltare, ajustîndu-le la resursele previzibile. Prima atitudine este cunoscută ca „orientarea spre dezvoltarea resurselor", cea de-a doua — ca „orientare spre reducerea consumurilor". Recunoaştem în strategia noastră energetică elemente ale ambelor orientări. Cînd partidul ne cere să economisim energia, reducînd consumurile specifice, eliminînd consumurile inutile, reevaluînd investiţiile planificate sub raportul consumurilor şi eficienţei lor energetice, dezafectînd şi înlocuind instalaţiile mari consumatoare de energie, restructurînd gama de produse, tehnologii şi exporturi pe baza aşa-numitei analize energetice a acestora, aplicăm o orientare spre reducerea consumurilor. Cînd ni se cere să valorificăm toate resursele naţionale de energie, inclusiv cele cu conţinuturi utile

sărace, ca şisturile bituminoase sau deşeurile, sau pe cele cu densitate energetică mică şi fluctuantă, ca energia solară şi vînturile, sîntem orientaţi spre dezvoltarea resurselor. Îmbinînd astfel laturile raţionale ale ambelor moduri de abordare a problemei energiei şi materiilor prime în contextul dezvoltării — orientarea spre dezvoltarea resurselor şi cea spre reducerea consumurilor —, *strategia partidului nostru acordă, pe termen lung, un sens fundamental orientării spre dezvoltarea resurselor, cerînd ştiinţei şi tehnologiei româneşti soluţii de completare sau de înlocuire reale, compatibile cu programul de dezvoltare socialistă multilaterală a societăţii româneşti.* Urmărind acest drum al eforturilor de dezvoltare a energeticii —de la idei la decizii —, am fost însoţiţi în permanenţă de ştiinţă : ştiinţa stimulînd proliferarea ideilor; ştiinţa disciplinînd producţia de idei, filtrînd-o şi îndrumînd-o; ştiinţa impunînd un nou mod de gîndire şi acţiune gospodăririi energiei văzută ca sistem; ştiinţa acţionînd la toate nivelele, de la structura industrială şi pînă la mentalitatea factorilor de decizie. Drumul de la idei la opţiuni, marcat de ştiinţă şi aliata ei trainică de astăzi—tehnologia, nu va fi parcurs o singură dată. În energetică ca şi în alte domenii, el este mereu reluat, niciodată desăvîrşit.

Opţiunile la care lumea a ajuns deocamdată, după trecerea preliminară prin filtrul constrîngerilor a inventarului actual de posibilităţi, privesc :

— pe termen scurt şi mediu, *reducerea consumurilor*, recomandînd *conservarea energiei*, gospodărirea ei judicioasă, evitarea oricărei risipe, în principal prin reducerea consumurilor specifice de combustibil şi energie, raţionalizarea nevoilor de consum, recuperarea resurselor secundare şi altele;

— pe termen mediu şi lung, *dezvoltarea resurselor*, recomandînd ca alternative, adică drept soluţii acoperitoare pentru nevoile prezumate de consum ale omenirii, *cărbunii*, în condiţiile unor noi tehnologii de exploatare şi valorificare; *fisiunea nucleară*, însoţită de reproducerea combustibilului nuclear; *energia solară* pe scară mare şi *energia geotermică*, mai ales cea „uscată" (independentă de apele termale); *fuziunea nucleară* (vezi tabelul 2).

Este firesc să ne imaginăm că în sistemele energetice ale viitorului contribuţiile acestor opţiuni se vor împleti în mod armonios, reflectînd mai bine decît în prezent nevoile reale ale omenirii.

Repetăm, această alegere este preliminară căci, aşa cum rezultă din tabelul schiţat, nici una dintre „alternative" nu este lipsită de probleme şi nu sîntem încă în măsură să prevedem amploarea pe care o vor lua unele dintre constrîngerile menţionate.

Esenţialul este că alternative există, odată cu certitudinea că ele ne sînt accesibile pe calea

Tabelul 2

Alternative — opţiuni pentru „resurse energetice nelimitate"

	Rezerve TWh	Nivelul de maturitate tehnologică	Probleme şi constrîngeri
Cărbuni	7.10^3	tehnologii mature, la nevoile actuale; pentru utilizarea pe scară largă sînt necesare noi tehnologii	condiţii de muncă grele; distrugeri de terenuri; deşeuri solide, CO_2 şi alţi poluanţi
Fisiune (cu reproducerea combustibilului)	circa 2.10^3	suficient pentru producţia de energie electrică; insuficient pentru exploatarea pe scară largă a ciclului combustibilului	stocarea deşeurilor radioactive; emisia de radionuclizi; securitate, garanţii etc.
Energia solară		cercetare şi inginerie pentru utilizarea pe scară largă, şi ca sistem	consum de teren şi materiale; stocare şi transport; perturbări climatice?
Fuziune (D—T)	circa 4.10	fuziunea controlată nedemonstrată; cercetare şi dezvoltare	stocarea materialului activat; emisia de radionuclizi
Geotermie	2.10^5	cercetare şi dezvoltare	stocarea deşeurilor? emisia de poluanţi? cutremure de pămînt?

științei și tehnologiei, cu prețul unui efort corespunzător, făcut din timp, încă de pe acum, de toate națiunile lumii, mari și mici. Așa cum arăta tovarășul Nicolae Ceaușescu, este necesar „*să participăm activ, cu forțe proprii, la revoluția tehnico-științifică mondială așa cum participăm pe plan politic și social la transformarea revoluționară a societății, a relațiilor internaționale, la înfăptuirea aspirațiilor popoarelor spre libertate, dreptate și independență*".

Angajîndu-se astfel în efortul spre rezolvarea unor probleme care, privind nemijlocit țara noastră, privesc, totodată, întreaga omenire, ca energia, alimentația, apa, sănătatea, calitatea mediului înconjurător, pacea și bunăstarea, partidul nostru comunist face dovada unei politici profund umaniste, care pune în centrul ei omul și nevoile sale, recunoscînd totodată științei și tehnologiei datoria și capacitatea de a da soluții pentru cerințele mari ale dezvoltării noastre viitoare.

Bibliografie

Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la Plenara comună a C.C. al P.C.R. și a Consiliului Suprem al Dezvoltării Economice și Sociale a României*, noiembrie 1973.

Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare cu prilejul conferirii titlului de doctor în științe sociale și a titlului de doctor în economie*, ianuarie 1978.

Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la Consfătuirea de la C.C. al P.C.R. cu cadre din domeniul cercetării științifice și proiectării tehnologice*, septembrie 1976.

McKelvey, N. E. și Duncan, D. C. *Resursele de energie ale S.U.A. și ale lumii*. In: Mineral Resource Development Ser. no. 26, II, 9, 1969.

Flerov, G. N. și Ilinov, A. S. *Pe drumul spre supra-elemente*. Ed. Pedagogică, Moscova, 1977.

Häfele, W. *Sistemele energetice: opțiuni și strategii globale. Lucrările Conferinței Institutului Internațional pentru Analiza Aplicată a Sistemelor* — IIASA, Laxenburg, vol. I, 57, 10—13 mai 1976.

Ursu, I. *Fizica și energia*. Lucrările celei de-a III-a Conferințe generale a Societății Europene de Fizică, București, septembrie 1975.

Consumul de energie și economia de energie

Trandafir Cocârlă,
ministrul energiei electrice

În zilele noastre dezvoltarea economică și socială este dependentă în cel mai înalt grad de asigurarea cu energie. Nu poate fi conceput nici un compartiment al vieții sociale care să nu facă uz de binefacerile științei și tehnicii, iar aceste mijloace moderne sînt, în mai mică sau în mai mare măsură, consumatoare de energie.

În timp ce creșterile cererii de energie au un ritm extrem de ridicat, sursele de energie că ele sînt limitate și peste un număr relativ mic de ani vor fi epuizate dacă creșterile consumului din ultimii ani vor continua.

Creșterile importante ale consumurilor de energie din ultimele decenii au fost determinate de anumite condiții de conjunctură, dar în același timp se poate spune că preocuparea pentru utilizarea cît mai rațională a energiei ocupă încă un loc mai mult decît modest. Acest lucru poate fi ilustrat prin faptul că sporurile de venit național ori de produs intern brut se realizează practic în toate țările cu creșteri foarte însemnate ale consumurilor energetice.

Abia în ultimii ani s-au înregistrat pe plan mondial schimbări de esență în această di-

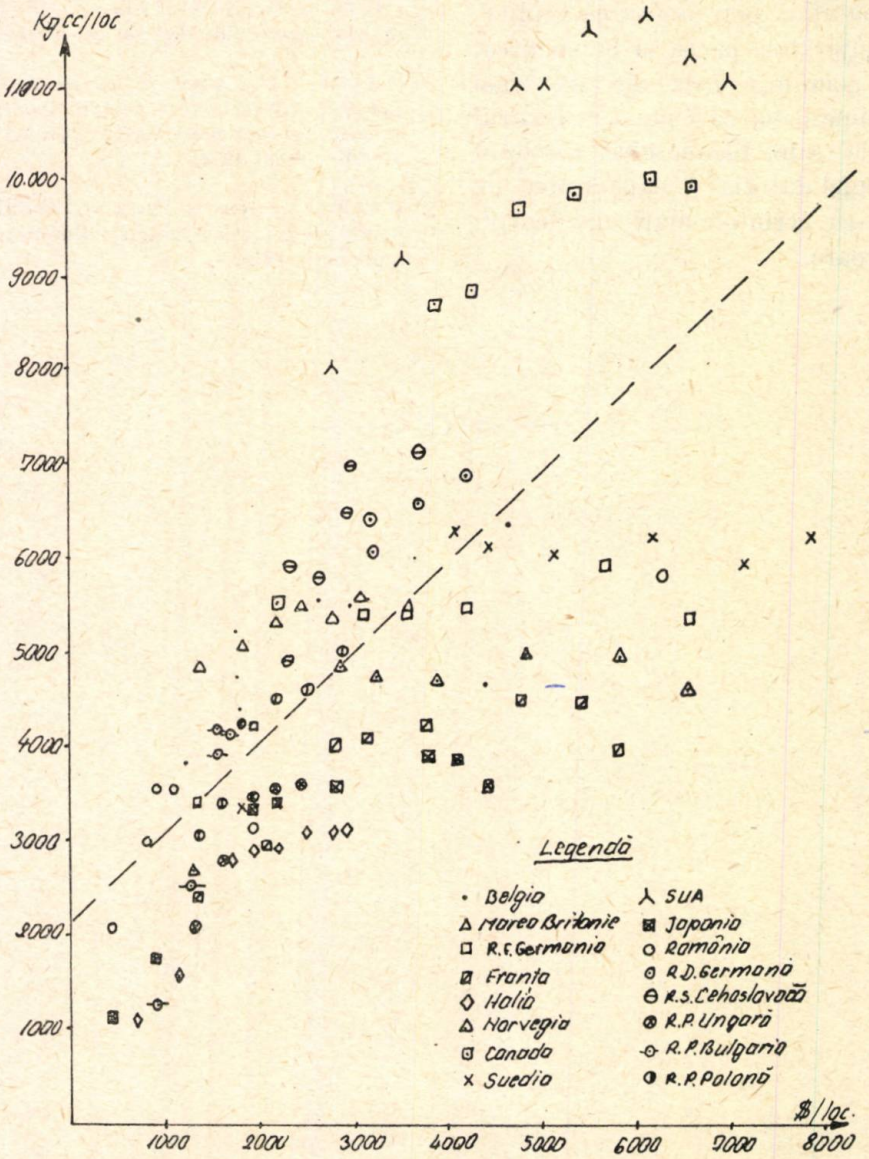


Fig. 1. Relația dintre venitul național (sau PIB) și consumul de energie pe locuitor.

nu cresc în aceleași proporții. Nu se poate afirma că se cunoaște cu exactitate volumul zăcămintelor de combustibil — cărbuni și hidrocarburi — dar se poate spune cu suficientă exactitate

recție. În acest context este pentru noi un motiv de întemeiată mîndrie faptul că analizele profunde efectuate de către partid, de secretarul său general, tovarășul Nicolae Ceaușescu,

au evidențiat, cu clarviziunea caracteristică, cu mult înainte de declanșarea crizei energetice mondiale, necesitatea orientării întregii economii naționale a țării noastre pe calea raționalizării riguroase a consumurilor energetice, pe calea economisirii severe a energiei.

Țara noastră, sub conducerea înțeleaptă a partidului său comunist, a făcut în ultimul sfert de secol eforturi majore pentru a-și învinge rămînerea în urmă, pentru a asigura

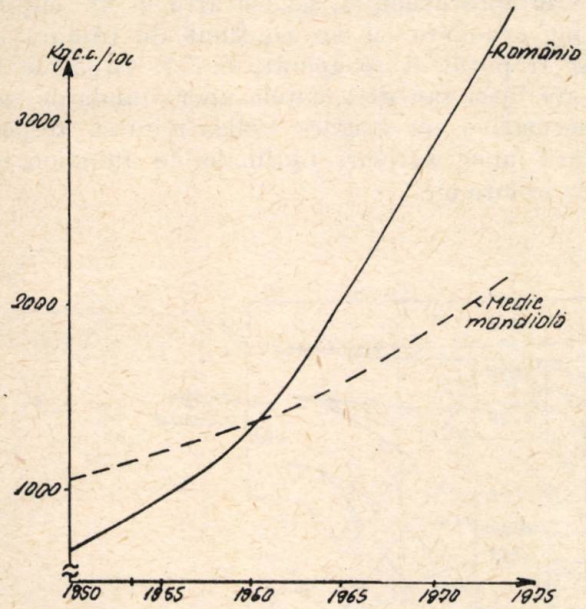


Fig. 2. Evoluția consumului de energie pe locuitor.

poporului un nivel de viață demn, îndestulat. Aceste eforturi generale au fost însoțite pe plan energetic de o dezvoltare fără precedent, care a atras în circuitul activității sociale și economice noi și însemnate resurse energetice. Consumul de energie pe locuitor, care era în țara noastră în 1950 de-abia 60% din media mondială, a ajuns în 1961 să egaleze această medie, pentru ca în 1974 să o depășească cu 72%, crescînd în 25 de ani de șase ori. Valoarea absolută a consumului realizată în 1974 în România, de 3,54 t combustibil convențional pe locuitor, este elocventă prin ea însăși.

Aprecierea secretarului general al partidului, cu privire la faptul că există în țara noastră o neconcordanță între creșterea venitului național și creșterea consumului de energie, a reprezentat punctul de plecare pentru reconsiderarea profundă a concepțiilor de politică energetică națională, sub toate aspectele acesteia: promovarea de noi surse de energie, utilizarea cu precădere a resurselor energetice inferioare și a celor inepuizabile, dar mai ales reorientarea activității economice generale către obținerea acelorași rezultate cu consum energetic mai mic.

În acest sens, în Raportul tovarășului Nicolae Ceaușescu la Conferința Națională a P.C.R. din decembrie 1977 se arată: „În mod deosebit trebuie să acordăm atenție asigurării și gospodăririi raționale a combustibililor și energiei — problemă vitală pentru însăși dezvoltarea în continuare a economiei, a întregii noastre societăți".

Structura balanței de energie primară este necorespunzătoare, o pondere excesiv de mare avînd hidrocarburile, îndeosebi gazele naturale. În legătură cu aceasta trebuie arătat, de asemenea, că aproape 25% din importul nostru de producție îl constituie petrolul, cocsul și cărbunele cocsificabil. Iată de ce se impun intensificate eforturile pentru valorificarea rezervelor de huilă, lignit și șisturi bituminoase, pentru accelerarea programului construcției de hidrocentrale, precum și pentru punerea în valoare a unor surse noi, cum sînt energia solară, eoliană, apele termale și altele.

În conformitate cu cele de mai sus a fost elaborat, în cadrul C.N.Ș.T., un amplu program de cercetare pentru dezvoltarea și valorificarea surselor noi de energie, pe baza căruia se întreprind în prezent cercetări susținute în toate direcțiile considerate promițătoare în condițiile țării noastre.

Orientarea către utilizarea preponderentă a resurselor energetice inepuizabile și a celor inferioare și-a găsit forma concretă în programul de amenajare a potențialului hidroenergetic al țării, ca și în valorificarea cît mai completă a rezervelor de cărbune inferior și șisturi bituminoase cunoscute. În conformitate cu aceste planuri, din totalul potențialului hidroenergetic tehnic amenajabil al României, estimat la 37 TWh, urmează a fi amenajate la nivelul anului 1980 peste 11 TWh sau 30%; în anul 1990 se prevede atingerea unui nivel de 24 TWh, pentru ca în anul 2000 întregul potențial hidroenergetic să fie amenajat. Prin aceasta, cota energiei hidraulice în balanța energetică a țării va crește de la 3,6% în 1980 la 5,0% în 1990.

În ceea ce privește cărbunii inferiori, dacă în balanța energetică ei contribuiau cu 8,6% în 1975, se prevede ca ponderea lor să crească în 1990 pînă la 11,6%. În plus, utilizarea șisturilor bituminoase va reprezenta în 1990 o contribuție de 3,0 milioane tone combustibil convențional, sau 2,0% din resursele balanței energetice naționale.

Măsurile menționate vizează asigurarea acoperirii în perspectivă a unor necesități rezonabile de energie ale economiei naționale. Dar menținerea unui înalt ritm de dezvoltare a economiei noastre nu este de conceput fără promovarea unei politici multilaterale de reducere a dependenței creșterii economice de creșterea consumului energetic.

Considerăm că este pe deplin posibil să se reducă consumul de energie fără a stînjeni activitatea economică, dacă pornim de la următorul adevăr: raportul între energia pier-

dută și cea consumată este diferit la procesele moderne față de cele mai puțin evoluate, dar pe ansamblu în țara noastră pierderile reprezintă aproximativ 2/3 din energia consumată. Analiza atentă a fiecărui caz în parte arată că o parte din pierderi pot fi returnate în

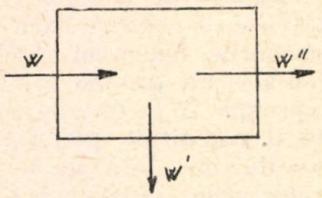


Fig. 3. Raportul dintre energia pierdută și cea consumată.
$W = W' + W''$
W — energia consumată
W' — pierderi de energie
W'' — energie utilă

Ridicarea gradului de folosire utilă a energiei, măsură care după analizele efectuate este cea mai ieftină cale pentru echilibrarea balanțelor energetice, poate fi realizată pe mai multe direcții:

— prin crearea unei opinii de masă pentru suprimarea risipei de energie, pentru modificarea comportamentului consumatorilor în sensul utilizării mai puțin intensive a energiei; se au aici în vedere atît situațiile simple, în care, spre exemplu, gazele arse la un cuptor sînt evacuate cu un conținut de căldură ce ar fi putut fi recuperat, dar și situațiile în care lipsa sau deficiențele unor standarde sau normative nu asigură obligativitatea respectării unor niveluri optimale de funcționare, de izolare etc.;

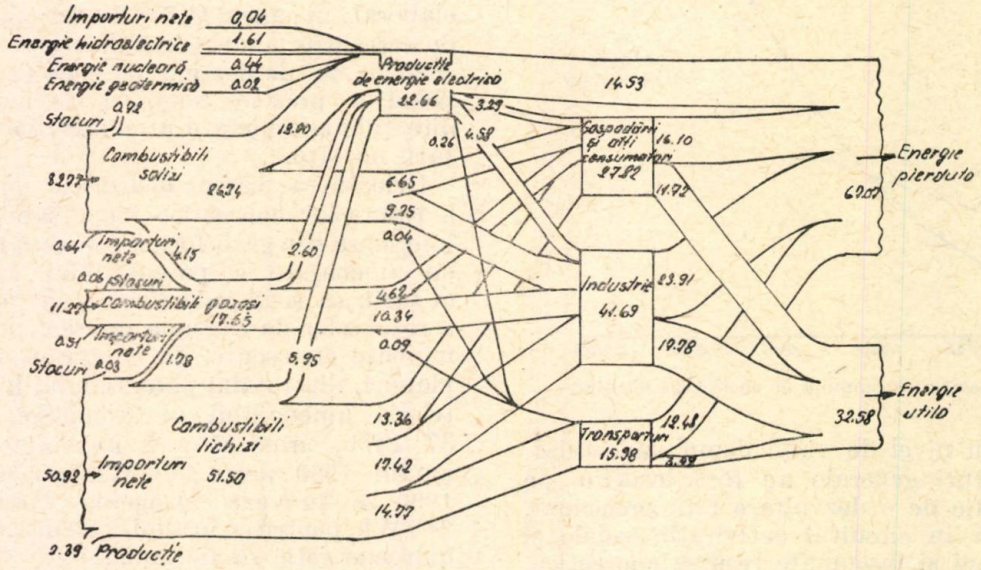


Fig. 4. Fluxuri de energie în Europa în 1972, în procente (fără U.R.S.S.).

circuitul de consum, făcînd să crească valoarea energiei utile. În cadrul unui raport al O.N.U. cu privire la posibilitățile economisirii energiei într-un număr mare de țări, se arată că în cursul procesului de prelucrare, transformare, transport, distribuție și consum al energiei — deci făcînd abstracție de faza de extragere — procentul de energie utilă este variabil de la țară la țară; dacă în Europa în ansamblu (fără U.R.S.S.) energia utilă reprezenta în 1972 aproximativ 33% din cea intrată în balanță, balanța energetică a S.U.A. prezenta un procent de energie utilă în 1970 de 47,5%. Examinarea acestor bilanțuri arată o utilizare mai economică a energiei, în special în gospodăriile casnice și în industrii, rezultînd că chiar în cadrul tehnicilor cunoscute în prezent pe plan mondial există posibilități relativ largi de economisire a energiei încă nevalorificate.

— prin promovarea progresului tehnic, atît în legătură cu renovările de echipamente, cît și cu perfecționările organizatorice ale proceselor tehnologice, prin reciclări de agenți, restructurări de fluxuri etc.;

— prin restructurarea cererii finale, restrîngerea și înlocuirea produselor cu componentă energetică importantă și a produselor ce implică consum ridicat de energie; în condițiile unei balanțe energetice deficitare se impune reexaminarea necesarului de principale produse energointensive, spre a evita pe cît posibil să se consume ori să se exporte în mod oneros prin astfel de produse energie care apoi trebuie importată pentru echilibrarea balanței;

— prin înlocuirea energiei cu alți factori de producție — mînă de lucru, materiale, fonduri fixe, în principal cu ocazia alegerii obiectivelor noi ori extinderii, modernizării celor existente, prin creșterea duratei de viață și ameliorarea

randamentului energetic al produselor, chiar cu prețul unor anumite sporiri de costuri.

Imperativele valabile pentru economia de energie în general sînt valabile în aceeași măsură și pentru economia de energie electrică. la realizarea unui procent de pierderi de numai 6,48 % în 1977, cel mai scăzut procent de pierderi realizat pînă în prezent în energetica românească. Față de 1976, reducerea procentului de pierderi a fost în 1977 de 0,49 %, ceea ce este

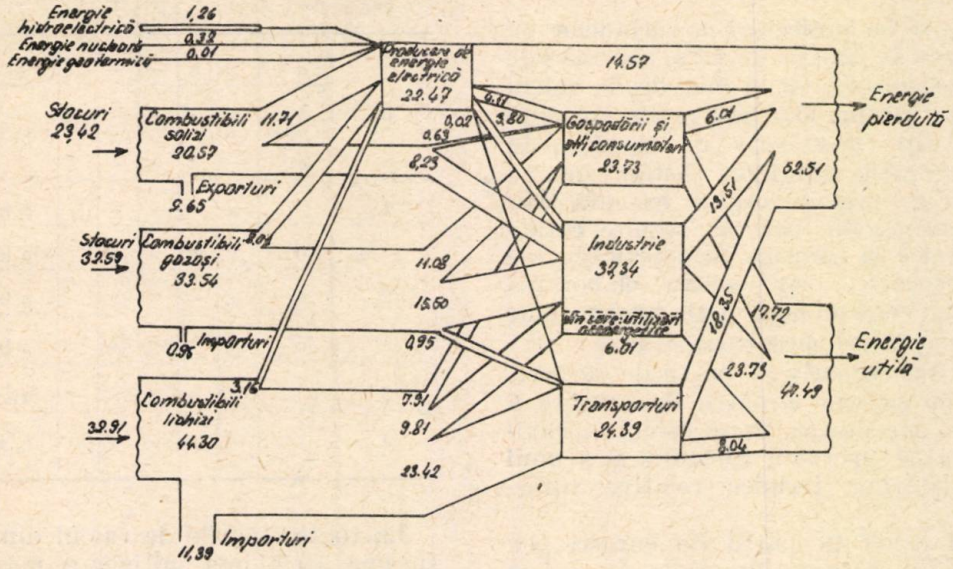


Fig. 5. Fluxuri de energie în Statele Unite ale Americii. Date efective 1970 (în procente).

Pentru traducerea în viață a acestor imperative, lucrătorii din ramura energiei electrice depun eforturi permanente în vederea eliminării risipei și sporirii randamentelor energetice la toate fazele procesului tehnologic de producere, transport, distribuție și consum.

Acțiunile susținute întreprinse în ultimul an în direcția reducerii consumului specific de combustibil, a micșorării consumurilor tehnologice în centrale și a pierderilor în rețelele de transport-distribuție, în direcția influențării consumatorilor în sensul încadrării în repartițiile de energie electrică și în normele de consum stabilite s-au soldat cu rezultate pozitive. Astfel, la nivelul economiei naționale, creșterea producției industriale de 12,5 % în 1977 a fost realizată cu o creștere a consumului de energie electrică de numai 5 %. Față de prevederile planului de stat, au fost realizate economii de 1,7 miliarde kWh la energia electrică și peste 3,5 milioane Gcal la energia termică livrată în termoficare. Măsurile luate pentru o mai judicioasă gospodărire a instalațiilor au condus echivalent cu o economie de energie electrică de peste 300 milioane kWh.

Preocuparea susținută de a elimina consumurile neeficiente de energie electrică din producția industrială, preocupare care este comună atît energeticienilor cît și tehnologilor din industrie, a condus de asemenea la rezultate importante în anul 1977, cînd pentru 1000 lei producție industrială au fost necesare numai 49,7 kWh, față de aproximativ 54 kWh, care fuseseră necesari în 1976 pentru aceeași producție. Aceasta înseamnă că în 1977, energia electrică economisită la capitolul consum industrial a permis o producție industrială suplimentară de peste 60 miliarde lei. Aceste realizări reprezintă însă numai o mică parte a posibilităților existente de economisire a energiei electrice, posibilități asupra cărora trebuie să se concentreze eforturile în continuare, spre a reduce cît mai grabnic la minimum componenta pierdută în ciclul tehnologic de producere-transport-distribuție-consum al energiei electrice.

Cu privire la programarea calculului termic al turbinelor cu abur

Ing. **M. Cârdu***)

În activitatea de proiectare a turbinelor cu abur se folosesc, în funcţie de scop, atît metode de calcul aproximativ, cît şi metode de calcul exact, detaliat, pe una sau mai multe variante ale aceluiaşi tip constructiv de turbină, în vederea optimizării soluţiilor. Astfel, pentru studii sau oferte preliminare, se execută calcule aproximative, din care să rezulte caracteristicile tehnice şi soluţiile de ansamblu ale turbinelor respective, iar pentru elaborarea proiectelor tehnice şi de detaliu ale unei turbine se parcurg, în general, următoarele faze :

1. Calculul aproximativ al părţii de curgere.
2. Schiţa de proiect a părţii de curgere a aburului, cu executarea unui calcul aproximativ al turaţiei critice a rotorului şi a unui calcul al dilatărilor termice relative rotor-stator.
3. Calculul exact al părţii de curgere, cu utilizarea datelor obţinute din schiţa de proiect pentru jocuri, diametre, număr de elemente la etanşări etc.
4. Proiectul definitiv al părţii de curgere, cu stabilirea tuturor cotelor de detaliu.

Întrucît calculul termic exact al unei turbine cu mai multe trepte este foarte laborios, presupunînd un număr mare de încercări şi reveniri, la ora actuală el se execută pe calculatoare de mare capacitate.

Programarea acestui calcul a constituit o problemă dificilă, cu atît mai mult cu cît trebuiau stabilite şi relaţiile pentru mărimile de stare ale aburului, care în cazul calculelor obişnuite nu erau necesare, valorile pentru mărimile respective putîndu-se citi din tabele sau diagrame.

Este posibilă şi introducerea tabelelor de abur în memoria maşinii şi executarea unor interpolări ale valorilor respective, însă metoda este foarte laborioasă. Existenţa unor memorii externe cu acces rapid (pe disc) face metoda competitivă cu cea în care se aplică relaţiile pentru mărimile de stare ale aburului.

La ora actuală se cunosc mai multe programe de calcul, în funcţie de elementele care se impun iniţial. În tabelul 1 este sintetizată situaţia acestor tipuri de programe. Cu semnul × sînt notate în tabel mărimile impuse iniţial.

Tipurile de program de bază din tabelul 1 pot fi combinate, în funcţie de necesităţi, şi cu alte condiţii care se impun, cum ar fi utilizarea în toate secţiunile de calcul a profilelor unui ajutaj, respectiv a unei palete existente.

* Ing. Mircea Cârdu este şeful Secţiei proiectare turbomaşini din Institutul de cercetări şi proiectări echipamente termoenergetice.

Tabelul 1

Tipurile de programe pentru calculul termic al turbinelor cu abur

Tipul programului		l_a	ε	α_{1b}	β_{2b}	ρ	Observaţii
0	*a*	×	×	—	—	×	
	b	×	—	×	—	×	
	c	—	×	×	—	×	
1		×	×	×	—		ρ informativ
2	*a*	×	×	—	×		ρ informativ
	b	×	—	×	×		ρ informativ
	c	—	×	×	×		ρ informativ
3		×	—	×	×		α_{1b} informativ
4		—	×	×	×		l_a informativ

La toate tipurile de calcul din tabel se presupune atribuirea iniţială a unor valori date pentru coeficientul de repartiţie a debitului C_R, care reprezintă raportul

$$C_R = \frac{S_{1r}}{S_{1n}},$$

unde

S_{1n} este secţiunea necesară a ajutajelor treptei calculată la diametrul mediu;

S_{1r} — secţiunea reală a unor ajutaje existente, admise la proiectare, de înălţime apropiată de cele cu secţiunea S_{1n}.

Întrucît calculul termic al treptei se face în mai multe secţiuni pe înălţimea ajutajelor şi respectiv paletelor, calculul lui S_{1r}, S_{1n} şi C_R se face pentru unghiurile α_{1ef} ale diferitelor secţiuni de calcul, considerînd în toate cazurile diametrul d_1 al secţiunii de mijloc şi admiţînd că paleta statorică ar avea profilul din secţiunea respectivă pe întreaga înălţime [2]. În general este de dorit ca media coeficienţilor de repartiţie C_R de la toate secţiunile de calcul să fie cît mai aproape de unitate.

În vederea simplificării calculului, acesta se execută separat pe sectoare din turbină compuse din mai multe trepte de presiune, situate, în general, pe zone de debit constant (între admisie şi prima priză de abur, sau între două prize succesive). Datele de intrare pentru un anumit sector de calcul (cu excepţia primului sector) se deduc din datele de ieşire din sectorul anterior, ţinînd seama de debitul extras la priza dintre acestea două sau de parametrii aburului admis, în cazul turbinelor cu reglare

prin ocolire, respectiv a celor cu mai multe admisii de abur.

Pentru exemplificare, în figura 1 se dă schema logică (organigrama) a programului de tip 2.c, combinat cu impunerea valorilor unghiului β_2 pe toată lungimea paletei. Astfel, tipul de calcul 2.c este urmărit pînă la blocul 26 inclusiv, cu impunerea valorii $C_R = 1$, după care C_R rezultă în funcţie de valorile impuse ale lui β_2. Exemplul tratează cazul în care, la toate treptele sectorului luat în consideraţie, curgerea este subcritică.

În cazul în care la o anumită treaptă curgerea devine supracritică, schema logică este completată cu un subprogram special întocmit pe baza relaţiilor de calcul pentru abaterea vînei de abur şi pentru pierderile suplimentare datorită undelor de şoc.

Relaţiile de calcul sînt cele cunoscute din calculul termic al turbinelor cu abur [2], [4], [5], [6], iar în schema logică intervin şi unele simboluri specifice limbajului de programare, cum ar fi : j — numărul de ordine al secţiunii (pe înălţimea ajutajelor sau paletelor) pentru care se execută calculul ($j = 1$ pentru secţiunea de la bază cu care se începe calculul) ; indicele ' (prim) reprezintă iteraţia anterioară (cu număr de ordine mai mic cu o unitate decît cea considerată), indicele '' (secund) reprezintă iteraţia cu număr de ordine mai mic cu două unităţi decît cea considerată ş.a.m.d. ; simbolul : : s-a utilizat pentru operaţia de comparaţie.

Pentru blocurile utilizate în schema logică s-au folosit simbolizări obişnuite în literatura de specialitate [1], [3], cu următoarele semnificaţii : bloc delimitator (început, sfîrşit) notat în schemă cu „START" şi „STOP", bloc pentru citire reprezentat printr-un trapez cu latura mare în partea superioară, bloc pentru operaţii reprezentat printr-un dreptunghi, bloc de decizie reprezentat printr-un romb, bloc pentru comentarii reprezentat printr-un dreptunghi cu latura din stînga figurată cu linie întreruptă prelungită, bloc pentru scriere reprezentat printr-un trapez cu latura mare în partea inferioară şi conector pentru aceeaşi pagină reprezentat printr-un cerc.

Se menţionează de asemenea că relaţii de tipul $j = j + 1$ sînt uzuale în limbajul de programare ; asignarea $j = j + 1$ înseamnă că lui j i se atribuie rezultatul operaţiei din dreapta semnului egal.

Astfel, de exemplu, la blocul 44 pentru secţiunea a treia de calcul $j = j + 1$ devine $3 = 2 + 1$; $\varphi_3^2 = \varphi_2^2$; $p_{1.3} = +p_{1.2} + \Delta p_1$, în care Δp_1 reprezintă creşterea de presiune datorită centrifugării aburului calculat, în primă aproximaţie, cu ajutorul elementelor din secţiunea anterioară (Δp_2 din blocul 23 reprezintă aceeaşi mărime, calculată mai exact, cu elemente din secţiunea dată, de care se dispune la faza respectivă).

N reprezintă numărul total de secţiuni pe înălţimea ajutajelor, respectiv paletelor, pentru care se execută calculul, iar IM are semnificaţia „indicator de modificare".

Calculul se execută în sistemul de unităţi internaţional, existînd subprograme (necuprinse în schema logică din figura 1) cu ajutorul cărora se pot converti valorile mărimilor ce intervin în calcule, din sistemul internaţional în sistemul tehnic şi invers.

Iniţializarea calculului se face prin completarea a două foi de date, din care prima conţine şase cartele şi se întocmeşte numai dacă treapta de calculat este prima dintr-o serie de n trepte care formează sectorul respectiv, sau este o treaptă unică. A doua foaie de date conţine zece cartele şi se completează pentru toate treptele. În prima foaie de date, pentru starea iniţială a aburului sînt rezervate două cîmpuri, din care unul este destinat presiunii iniţiale, iar al doilea temperaturii iniţiale (valori supraunitare), titlului iniţial (valori cuprinse între 0 şi 1) sau entalpiei iniţiale (valori negative).

Pe lîngă perechea de date (presiunea şi temperatura, titlul sau entalpia) care determină starea iniţială a aburului, în prima foaie de date mai sînt cuprinse şi alte mărimi sau indicaţii necesare efectuării calculului, cum sînt : sistemul de unităţi folosit, modul de calcul (în sensul curgerii aburului, sau în sens contrar curgerii ; ultimul aplicat mai ales în calculul regimurilor parţiale de funcţionare), debitul de abur în amonte de treaptă, viteza de rotaţie, numărul de trepte al sectorului etc.

În a doua foaie de date este indicat tipul programului de calcul (prin cifrele 0 ; 1 ; 2 ; 3 ; >3 sînt indicate cele cinci tipuri principale de program din tabelul 1), numărul N de secţiuni*) în care se face calculul caracteristicilor geometrice (unghiuri, pante, mărimi de coardă etc.) ale ajutajelor şi paletelor — memorate pe fişiere separate —, precum şi debitul de abur extras (cifră negativă) sau adăugat (cifră pozitivă) în aval de treaptă şi entalpia aburului adăugat, numărul de ajutaje şi numărul de palete al treptei, din care rezultă lăţimile minime ale canalelor de curgere şi pasul, jocurile radiale şi axiale din treaptă, elemente necesare pentru calculul scăpărilor prin labirinţi etc.

Pentru obţinerea cu suficientă precizie a rezultatelor de calcul, este necesar să se recurgă la un număr de iteraţii, admiţîndu-se iniţial valori pentru anumite mărimi (de exemplu $\varphi^2 = 0{,}95$). Calculul prin iteraţii se continuă pînă cînd valorile obţinute pentru anumite

*) Principiul modern de calcul în mai multe secţiuni pe înălţimea ajutajelor, respectiv a paletelor [2], constă în faptul că pentru fiecare secţiune se admite că paleta statorică, respectiv rotorică ar avea profilul din secţiunea respectivă pe întreaga lungime.

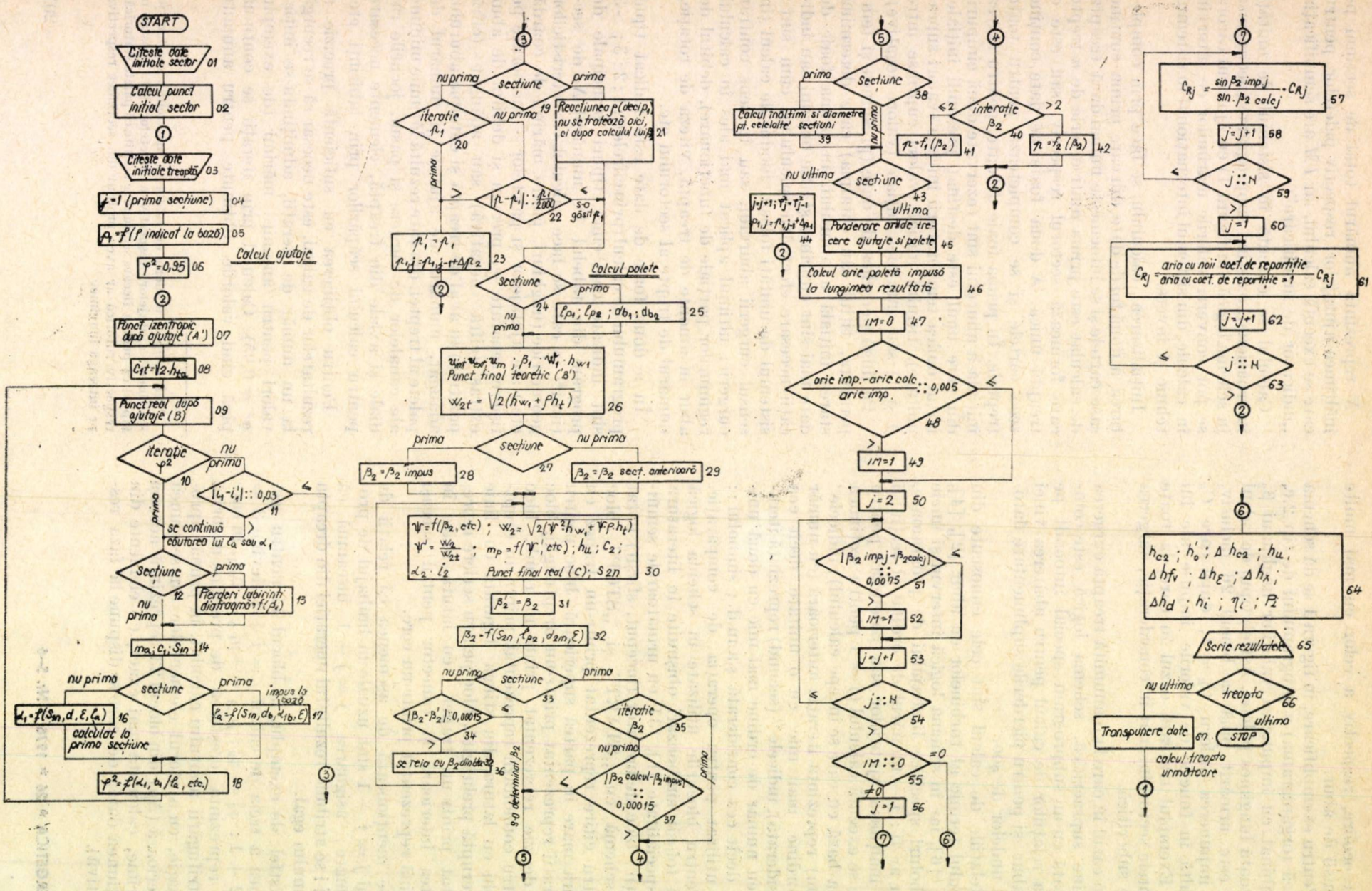


Fig. 1. Schema logică a unui program de calcul.

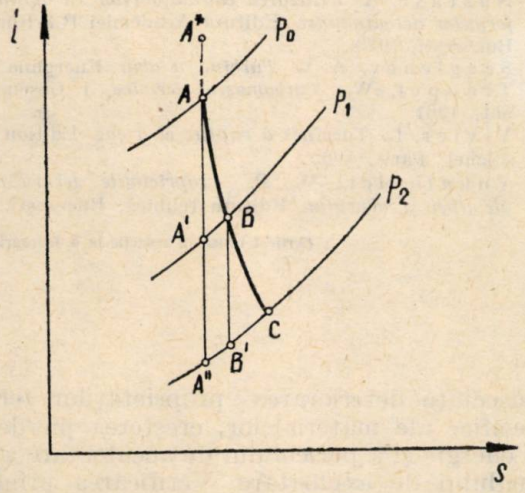
mărimi la două iteraţii succesive sînt suficient de apropiate pentru a se considera că precizia rezultatelor este satisfăcătoare pentru faza de calcul respectivă. Astfel, aşa după cum se observă în schema logică, pentru entalpie se consideră satisfăcătoare condiţia $|i_1 - i_1'| \leqslant \leqslant 0{,}03$ (blocul 11), pentru presiune $|p_1 - p_1'| \leqslant p_1'/2000$ (blocul 22) etc.

Calculul coeficienţilor de reducere a vitezei φ şi ψ se poate face pe cale analitică, cu ajutorul unor subprograme speciale (nefigurate în schema logică).

Pentru clarificarea poziţiei în diagrama $i-S$ a punctelor ce caracterizează starea aburului în diversele secţiuni de calcul din treaptă pe direcţia de curgere, acestea au fost reprezentate în figura 2.

Pentru determinarea mărimilor de stare ale aburului, au fost stabilite mai multe relaţii de calcul de către diverşi autori sau instituţii tehnice (vezi [7], VDI etc.).

Calculul conform schemei logice din figura 1 porneşte de la ipoteza existenţei unor palete cu toate elementele cunoscute, inclusiv unghiurile β_2 la bază şi înălţimile $y_1 \ldots y_i$. Elemente-

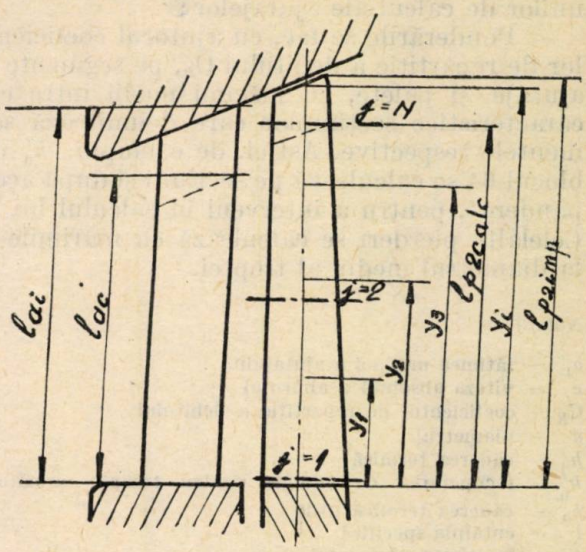


2. Puncte caracteristice pentru calculul termic pe calculator.
A^* — punct iniţial (parametri de frînare); A — punct iniţial al desdinderii în treaptă: A'' — punct final izentropic al treptei; A' — punct izentropic după ajutaje; B — punct real după ajutaje; B' — punct final teoretic (după palete); C — punct final real al treptei.

pective pentru secţiunile de calcul ($j = 1 \ldots j = N$) se determină prin interpolare, atunci cînd ele nu sînt situate la una din înălţimile date (fig. 3).

La calculul ajutajelor în prima secţiune (la bază), unde α_{1b} este impus, se determină înălţimea ajutajului l_a (blocul 17). La celelalte secţiuni ($j > 1$) α_1 (blocul 16) rezultă printr-un dublu şir de iteraţii pentru φ^2 şi pentru p_1, prin care se exprimă reacţiunea şi care este funcţie şi de β_2.

La calculul paletelor, lungimea la intrare şi ieşire şi diametrele de bază respective se determină în blocul 25 la prima secţiune în funcţie de



3. Elemente de calcul ale ajutajelor şi paletelor.
l_{ai} — înălţimea impusă a ajutajului; l_{ac} — înălţimea calculată a ajutajului; l_{p2i} — lungimea impusă a paletei; l_{p2c} — lungimea calculată a paletei.

l_a determinat în blocul 17 şi elementele constructive ale treptei (acoperiri) stabilite apriori. Trecerea de la lungimea paletei impuse la lungimea calculată se face prin secţionarea acesteia la lungimea necesară (fig. 3) şi determinarea elementelor secţiunilor de calcul în continuare, prin interpolarea elementelor caracteristice ale secţiunilor care definesc iniţial paleta. În general se alege iniţial o paletă mai lungă decît se apreciază că va rezulta lungimea din calcul, însă în cazul în care rezultă o lungime mai mare, în loc de secţionare şi interpolare se procedează la o extrapolare a paletei alese. La paletele lungi, care pun probleme de vibraţii, se preferă schimbarea parametrilor de calcul (grad de reacţiune, raport u/c, α_1) în limite admisibile, pînă se ajunge la o paletă existentă sigură din punct de vedere al rezistenţei şi caracteristicilor de vibraţii proprii.

În legătură cu calculul reprezentat prin schema din figura 1, mai sînt de menţionat următoarele :

— În blocul 26, pentru cazul paletelor evazate, u_{int} şi u_{ext} (viteze periferice) se calculează cu elementele de la intrare (u_i), respectiv de la ieşire din palete (u_e). Ele determină pe u_m (ca medie), cu care se calculează $h_u = f(w_1 w_2, u_m)$;

— În blocul 30, h_u este calculat provizoriu în funcţie de unghiul stabilit pînă la faza de calcul respectivă, pentru a putea determina i_2; în blocul 64, h_u se calculează cu valoarea definitivă a lui β_2;

— În blocul 39 se calculează înălţimea pentru secţiunile de calcul ale paletei de lungime deter-

minată (din blocul 25), admiţîndu-se un număr impar de secţiuni situate, de obicei, la distanţe egale ; la fel se procedează şi cu înălţimile secţiunilor de calcul ale ajutajelor ;

— Ponderările se fac, cu ajutorul coeficienţilor de repartiţie a debitului C_R, pe segmente de ajutaje şi palete, cu mărimi medii între cele caracteristice secţiunilor care delimitează segmentele respective. Astfel, de exemplu, h'_0 din blocul 64 se calculează pe secţiuni şi după aceea ponderat, pentru a interveni în calculul lui h_t. Celelalte pierderi se calculează cu mărimile de la diametrul mediu al treptei.

Notaţii

b_1 — lăţimea minimă a ajutajului
c — viteza absolută a aburului
C_R — coeficientul de repartiţie a debitului
d — diametrul
h — căderea termică
h'_0 — recuperarea de energie pentru treapta următoare
h_u — căderea termică utilă
i — entalpia specifică
l_a — înălţimea ajutajului
l_p — înălţimea paletei
m — coeficient de reducere a capacităţii de trecere a ajutajului, respectiv canalului dintre palete
p — presiunea
P — puterea treptei
S — secţiunea ajutajelor
u — viteza periferică
w — viteza relativă a aburului
Δh_{c_2}, Δh_{fv}, Δh_ε, Δh_x, Δh_d — pierderi datorită vitezei aburului la ieşire, frecări şi ventilaţie, admisiei parţiale, umidităţii şi respectiv scăpărilor interioare de abur
α — unghiul dintre viteza absolută a aburului şi viteza tangenţială
β — unghiul dintre viteza relativă a aburului şi viteza tangenţială
ε — gradul de admisie
η — randamentul
ρ — gradul de reacţiune
φ — coeficientul de reducere a vitezei în ajutaje
ψ — coeficientul de reducere a vitezei în palete

Indici

a — ajutaj
b — bază
$calc$ — calculat
e — ieşire
ef — efectiv
ext — exterior
i — intrare
imp — impus
int — interior
m — mediu
n — necesar
p — paletă
r — real
t — teoretic
1 — ieşirea din ajutaje, intrarea în palete
2 — ieşirea din palete

Bibliografie

[1] Cruţu, G. şi Lupşa, C. *Programarea la calculatorul FelixC–256 ; Fortran, Cobol.* Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1973.
[2] Grecu, T., Cârdu, M. şi Nicolau, I. *Turbine cu abur*, Editura tehnică, Bucureşti, 1976.
[3] Năstase, A. *Utilizarea calculatoarelor în optimizarea formelor aerodinamice.* Editura Academiei R.S.România, Bucureşti, 1973.
[4] Şcegleaev, A. V. *Turbine cu abur.* Energhiia, 1967.
[5] Traupel, W. *Turbomaşini termice*, I. Gosenergoizdat, 1961.
[6] Vivier, L. *Turbines à vapeur et à gaz.* Edition Albin Michel, Paris, 1965.
[7] Vukalovici, M. P. *Proprietăţile termodinamice ale apei şi aburului.* Editura tehnică, Bucureşti, 1967.

(Articol intrat în redacţie la 6 februarie 1978)

Algoritmi pentru calculul termic al echipamentelor termoenergetice

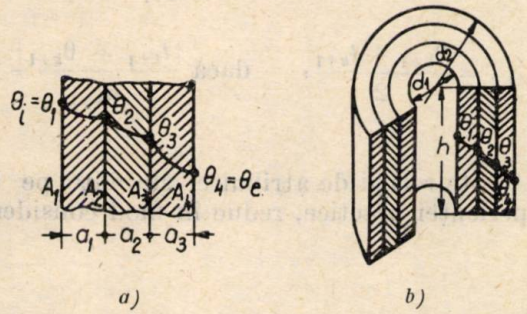
Dr. ing. **D. Comşa,**
ing. **V. Maier,**
ing. **M. Chindriş** *)

Determinarea corectă a indicatorilor energetici ai echipamentelor termoenergetice are o importanţă practică deosebită atît în faza de proiectare, cît şi în cea de exploatare a acestora. Astfel, în timp ce supradimensionarea căptuşelilor termorefractare şi termoizolante determină mărirea costurilor de investiţii şi risipă de materiale, subdimensionarea lor are drept consecinţe deteriorarea proprietăţilor termice specifice ale materialelor, creşterea pierderilor de energie şi a pericolului de accidentare a personalului de exploatare. Verificarea principalilor parametri energetici pentru cuptoare existente, prin efectuarea de bilanţuri energetice, are drept scop aprecierea exactă a modului de funcţionare şi permite luarea celor mai adecvate măsuri pentru încadrarea în limitele optime de lucru.

Parametrii menţionaţi rezultă în urma unui calcul termic bazat pe legile de transmitere a căldurii. Presupunînd un mare volum de lucru şi utilizînd cicluri iterative de calcul, studiul transmiterii căldurii prin pereţii cuptoarelor se uşurează mult prin utilizarea calculatoarelor numerice. Lucrarea prezintă un sistem de algoritmi ce permite utilizarea calculatoarelor în rezolvarea calculelor de transmitere a căldurii. Se prezintă o propunere originală de atribuire a valorilor iniţiale necesare în calculele iterative şi se dau doi algoritmi : primul permite efectua-

*) Dr. ing. Dan Comşa este profesor la Catedra de utilizări şi automatică, Institutul politehnic Cluj-Napoca ; ing. Virgil Maier este şef de lucrări ; ing. Mircea Chindriş asistent în cadrul aceleiaşi catedre.

rea calculelor termice pentru instalațiile termoenergetice existente; cel de-al doilea se utilizează în proiectarea acestora. În final se prezintă rezultatele obținute prin utilizarea unui calculator Felix C-256.



a) *b)*

Fig. 1. Transmisia căldurii prin pereți plani (*a*) și cilindrici (*b*).

Transmiterea căldurii

Relațiile de bază pentru calculul transmisiei căldurii în regim staționar sînt cunoscute [1], [2]. Astfel, fluxul termic Φ transmis prin pereți plani (fig. 1, *a*) este dat de relația :

$$\Phi = \frac{\theta_i - \theta_a}{\frac{1}{\alpha_i A_i} + \sum_{k=1}^{n} \frac{a_k}{\lambda_{mk} A_{mk}} + \frac{1}{\alpha_e A_e}} \text{ [W]}, \quad (1)$$

în care θ_i este temperatura interioară, °C ;

θ_a — temperatura ambiantă, °C ;

α_i, α_e — transmisivitatea termică interioară, respectiv exterioară, W/(m²K) ;

a_k — grosimea stratului k, termoizolant sau termorefractar, m ;

λ_{mk} — conductivitatea termică medie a stratului k, W/(mK) ;

A_{mk} — aria suprafeței medii a stratului k, m² ;

A_i, A_e — ariile suprafețelor interioară, respectiv exterioară, m².

Pentru pereți cilindrici (fig. 1,b), relația de calcul a fluxului termic este

$$\Phi = \frac{(\theta_i - \theta_a)\,\pi h}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{2\lambda_{mk}} \ln \frac{d_{k+1}}{d_k} + \frac{1}{\alpha_e d_e}} \text{ [W]}, \quad (2)$$

în care d_i, d_e, d_k sînt diametrele interior, respectiv exterior și cel interior al stratului k, m ;

h — înălțimea cilindrului cu n straturi termoizolante, m ;

celelalte mărimi au semnificațiile anterioare.

Din examinarea relațiilor (1) și (2) rezultă că prima dificultate în efectuarea calculelor termice o constituie necunoașterea temperaturilor intermediare dintre straturile componente care posedă proprietăți termice diferite. Aceste temperaturi determină însă valorile conductivităților termice λ_{mk}, care intervin în relațiile de calcul. Stabilirea analitică a valorilor temperaturilor intermediare pe baza relației

$$\theta_{k+1} = \theta_i - \Phi \left(\frac{1}{\alpha_i A_i} + \sum_{k=1}^{n} \frac{a_k}{\lambda_{mk} A_{mk}} \right), \quad (3)$$

scrisă pentru cazul pereților plani, este imposibilă din următoarele considerente :

— în expresiile rezistențelor termice (la numitorul relațiilor 1 și 2), intervin funcții neliniare, dependente de temperaturile intermediare ;

— transmisivitatea termică exterioară α_e este funcție neliniară de temperatura exterioară a pereților, necunoscută aprioric.

Rezolvarea acestei dificultăți se face prin recurgerea la calcule iterative. Inițial se atribuie, prin apreciere, o serie de valori pentru temperaturile intermediare, care se compară cu valorile rezultate din calcul : dacă diferența este mai mică de 5%, valorile inițiale se consideră cele reale și se pot utiliza în continuare toate valorile mărimilor care au intervenit în calculul termic. Dacă abaterea depășește 5%, calculele trebuie reluate, adoptînd noi valori pentru temperaturile intermediare [2].

Din experiența autorilor a rezultat că modalitatea de stabilire a temperaturilor intermediare are o semnificație majoră, cu atît mai mult cu cît este vorba de calcule laborioase. Reducerea numărului de iterații reprezintă, în cazul calculelor termice, o importantă economie de timp și asigură condițiile ca prin proiectare să se stabilească soluții justificate tehnico-economic. În cazul utilizării calculatorului numeric, existența unei metodici de atribuire pentru temperaturile intermediare reprezintă o condiție esențială în întocmirea programului de calcul.

Algoritm de calcul termic

Elaborarea algoritmului pentru calculul termic al echipamentelor termoenergetice cu pereți termoizolanți este condiționată de stabilirea relațiilor de atribuire a valorilor temperaturilor intermediare ale straturilor, în următoarele două situații : inițial, la începerea calculelor, și pe parcurs, la reluarea lor, conform calculului iterativ. Se notează cu θ temperaturile de calcul și cu t valorile recalculate la sfîrșitul unei iterații. În continuare, toate considerațiile sînt dezvoltate în legătură cu pereții plani.

Avînd în vedere că rezistența termică a aerului este practic neglijabilă în cazul termoizolațiilor corect dimensionate și presupunînd o variație liniară a temperaturii pe grosimea peretelui,

se propune atribuirea de valori inițiale temperaturilor intermediare, conform relației :

$$\theta_{k+1} = \theta_k - (\theta_1 - \theta_{n+1}) \frac{a_k}{\sum_{k=1}^{n} a_k}, \quad (4)$$

în care $\theta_1 = \theta_i$, iar $\theta_{n+1} = \theta_e = 60°C$, valoare adoptată în calcul din considerente de protecție a muncii.

În ceea ce privește alegerea valorilor pentru temperaturile intermediare la reluarea calculelor, în situația în care valorile recalculate t_{k+1} diferă de cele de la începutul iterației θ_{k+1} cu mai mult de 5%, se propun următoarele relații de atribuire :

$$\theta_{k+1} := t_{k+1}, \quad \text{dacă} \frac{|t_{k+1} - \theta_{k+1}|}{\theta_{k+1}} \leqslant 0{,}5; \quad (5)$$

$$\theta_{k+1} := \frac{\theta_{k+1} + t_{k+1}}{2}, \quad \text{dacă} \frac{|t_{k+1} - \theta_{k+1}|}{\theta_{k+1}} > 0{,}5 \quad (6)$$

Aceste relații de atribuire, stabilite pe baza experienței practice, reduc în mod considerabil

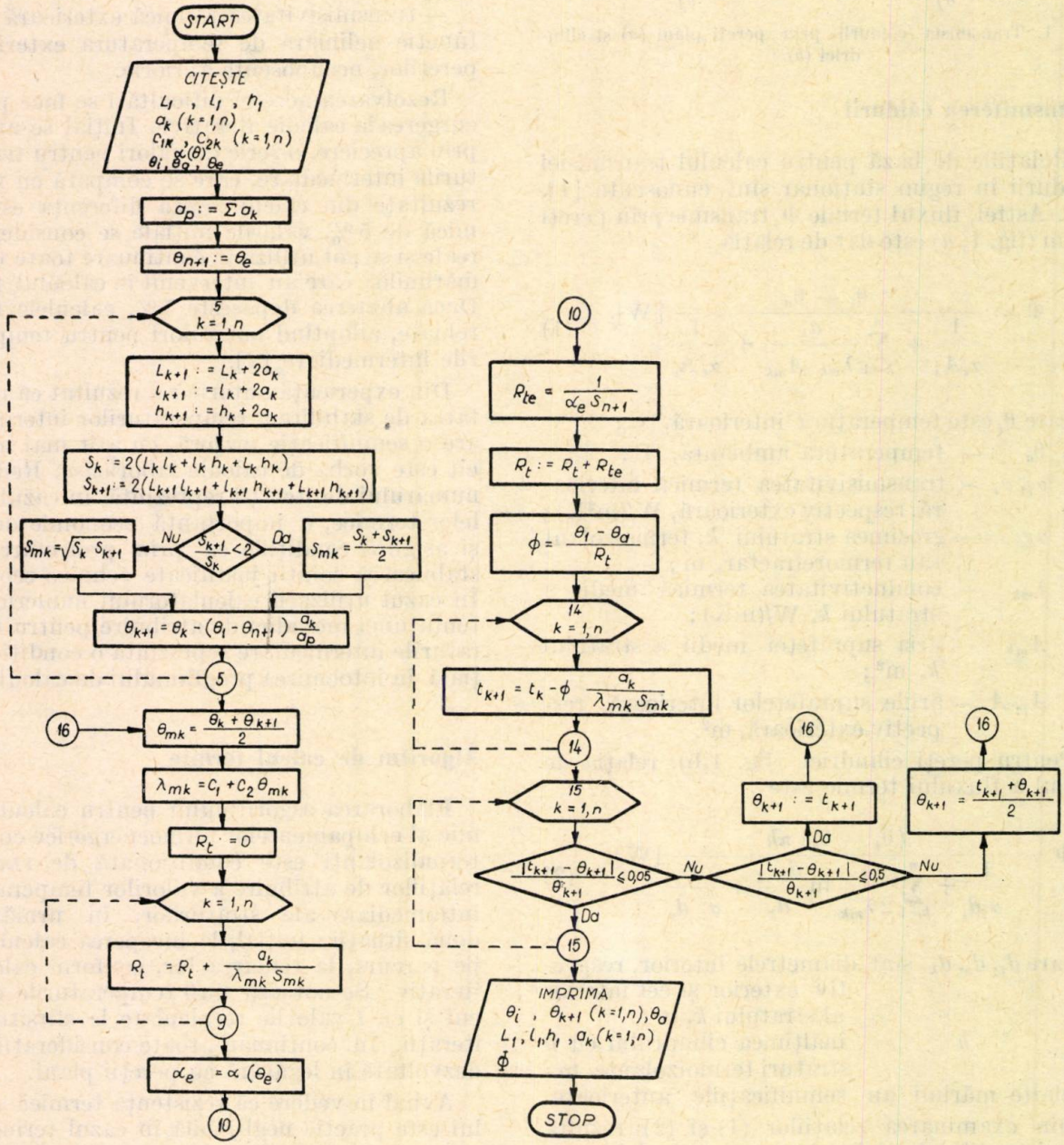


Fig. 2. Schema logică pentru calculul termic al construcțiilor existente.

numărul de iteraţii. Din relaţia (5)se constată că valoarea rezultată din calculul de verificare

$$t_{k+1} = t_k - \Phi \frac{a_k}{\lambda_{mk} A_{mk}} \qquad (7)$$

este, în cazul unor abateri mai mici de 50 %, cea mai indicată pentru reluarea calculelor, valoarea finală fiind foarte apropiată de aceasta.

Algoritmul întocmit pe baza consideraţiilor de mai sus este prezentat în figura 2. Acesta permite determinarea cîmpului de temperatură pe grosimile pereţilor plani termorefractari şi termoizolanţi şi a fluxului termic pierdut pentru instalaţiile existente, la care se efectuează bilanţul termic.

Se presupun cunoscute dimensiunile interioare L_1, l_1 şi h_1 ale incintei, grosimile a_k ale pereţilor, temperaturile interioară θ_i, exterioară θ_e şi a mediului ambiant θ_a. Se introduc, de asemenea, sub formă tabelară, coeficienţii C_{1k} şi C_{2k}, necesari pentru determinarea conductivităţii termice a diferitelor straturi ($\lambda_{mk} = C_{1k} + C_{2k}\theta_{mk}$) [2]. După calculul dimensiunilor geometrice, se trece la atribuirea de valori iniţiale θ_k temperaturilor intermediare, conform relaţiei (4). Datele cunoscute permit determinarea fluxului termic transmis Φ şi recalcularea temperaturilor intermediare t_k. Se compară valorile θ_k şi t_k şi, dacă diferenţa este mai mare de 5 %, se reface ciclul de calcul cu valori iniţiale obţinute conform relaţiilor (5) sau (6). În final se obţin la imprimantă dimensiunile geometrice cunoscute, valorile exacte ale temperaturilor pereţilor cuptorului şi fluxul termic transmis în exterior.

3. Algoritm pentru dimensionarea pereţilor termoizolanţi

În proiectarea incintelor de încălzire nu se cunosc decît dimensiunile spaţiilor interioare, grosimile pereţilor urmînd a fi stabilite prin calcule. Proiectantul decide structura pereţilor, alegînd natura materialelor din care urmează ca aceştia să fie construiţi, în baza indicaţiilor existente [1].

Prin stabilirea grosimilor pereţilor trebuie să se ţină seama de următoarele condiţii :

— să nu depăşească temperaturile maxime admisibile ale diverselor straturi ;

— să se utilizeze materiale în gama de dimensiuni existentă în fabricaţie, ceea ce impune corelarea acestora cu grosimile diverselor straturi.

Algoritmul de calcul destinat dimensionării pereţilor este prezentat în figura 3. Datele iniţiale cunoscute sînt dimensiunile interioare L_1, l_1 şi h_1 ale cuptorului, temperatura interioară θ_i şi ambiantă θ_a. Se mai dau dimensiunile standardizate Δa_k pentru materialele termorefractare şi termoizolante (cărămizi, blocuri, plăci etc.), temperaturile maxime θ_M admise de acestea, coeficienţii C_{1k}, C_{2k} şi coeficientul α de transmitere a căldurii prin convecţie şi radiaţie.

Iniţial se adoptă grosimi minime pentru fiecare strat ($a_k = \Delta a_k$), după care se efectuează calculul regimului termic conform algoritmului descris la par. 2. După determinarea exactă a temperaturilor intermediare, acestea se compară cu temperaturile θ_{Mk} maxim admise. Dacă relaţia

$$\theta_{k+1} < \theta_{Mk+1} \qquad (8)$$

nu este îndeplinită, se procedează la mărirea grosimii a_k a stratului k cu pasul Δa_k, ales din considerentele practice arătate mai sus. Calculele continuă pînă cînd relaţia (8) este satisfăcută. De remarcat faptul că, pe lîngă grosimile pereţilor, se determină temperaturile intermediare şi fluxul termic transmis, obţinîndu-se în acest mod date complete asupra regimului termic al cuptorului proiectat.

4. Rezultatele experimentale

Pe baza sistemului de algoritmi propus au fost întocmite programe rulate pe un calculator FELIX C-256. Calculele s-au efectuat pentru un cuptor cu rezistoare de laborator tip Automatica, cu dimensiunile interioare de 0,350×0,175× × 0,175 m, avînd pereţii căptuşiţi cu şamotă 0,110 m şi azbest 0,005 m. S-au obţinut următoarele rezultate :

— la temperatura interioară $\theta_i = 1000°C$ şi cea ambiantă $\theta_a = 20°C$, temperatura dintre stratul de şamotă şi cel de azbest rezultă de 300°C, iar cea exterioară de 200°C ;

— fluxul termic pierdut prin pereţi este de 4,670 kW.

Datele obţinute prin calcul concordă cu valorile determinate experimental, scoţînd în evidenţă caracteristicile termice necorespunzătoare ale cuptorului.

Al doilea program a fost utilizat pentru reproiectarea acestui cuptor la parametrii corespunzători normelor în vigoare. Impunînd temperatura exterioară de 60°C, s-a obţinut pentru peretele de şamotă 0,24 m, iar pentru cel de azbest 0,13 m. În acest caz, temperatura dintre cele

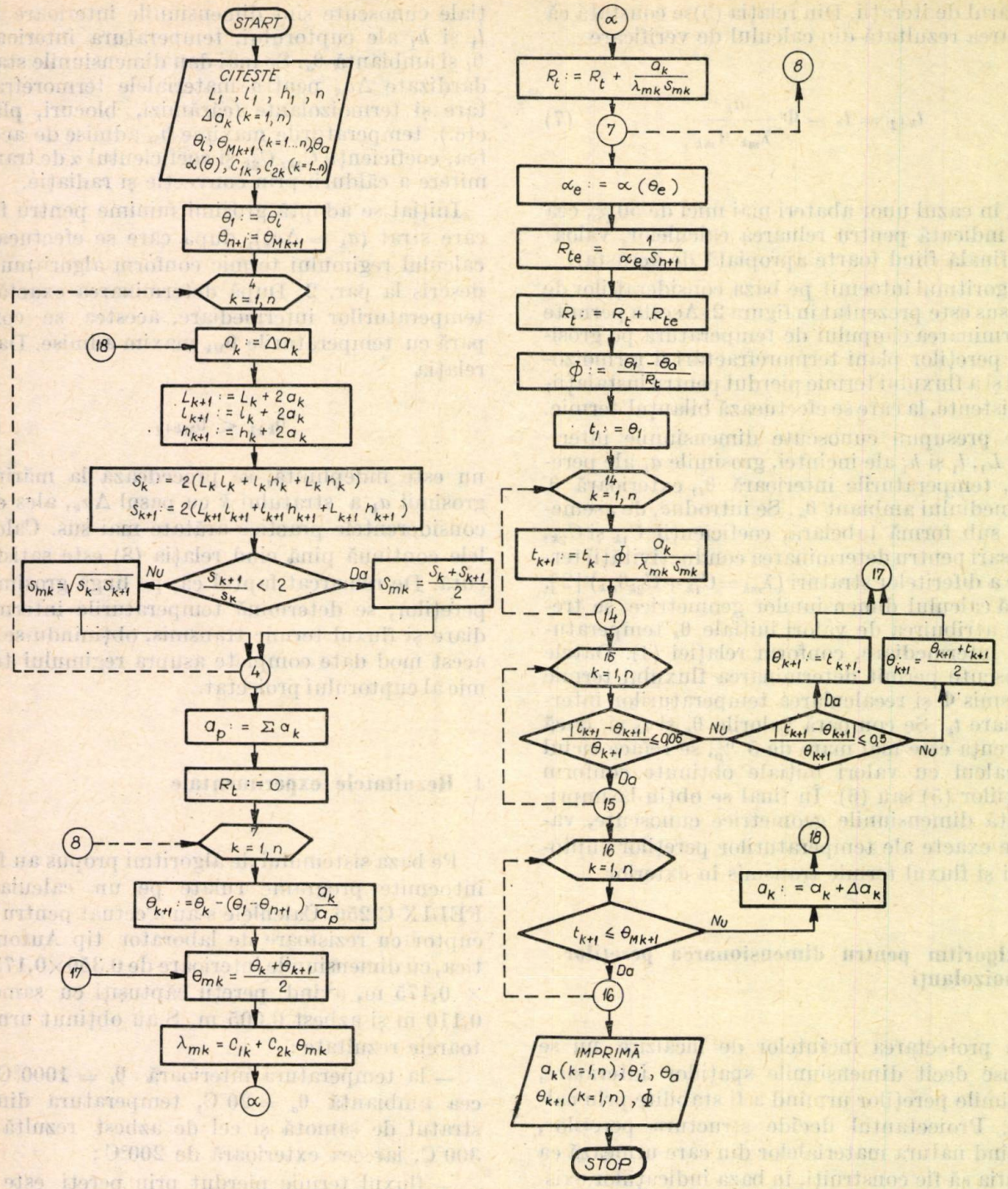


Fig. 3. Schema logică pentru dimensionarea pereților termoizolanți.

două straturi rezultă 450 °C, valoare inferioară celei de 500°C — maximă admisă de azbest. Fluxul termic pierdut rezultă 2,720 kW, conducînd la creșterea cu circa 13 % a randamentului. Se remarcă ușor importanța economică a unui calcul de proiectare corect, în condițiile actuale de reducere a energiei consumate în echipamentele termoenergetice.

Bibliografie

[1] Altgauzen, A.P. ș.a. *Instalații electrotermice industriale* (traducere din limba rusă). Editura tehnică, București, 1975.

[2] Comșa, D. *Utilizări ale energiei electrice*. Editura didactică și pedagogică, București, 1973.

[3] Comșa, D., Maier, V. și Chindriș, M. *Electrotermie, lucrări practice*. Lit. IPCN., Cluj-Napoca, 1977.

(Articol intrat în redacție la 21 octombrie 1977)

Modelele și parametrii mașinii sincrone

Dr. ing. **E. Potolea**[*)]

Problema parametrilor mașinii sincrone este mult dezbătută în lucrările de specialitate mai vechi [11], [9] sau mai noi [2], [4], [6], [10], și, cu toate acestea, nu este rezolvată în mod riguros din punct de vedere teoretic și în mod acceptabil pentru necesitățile practice. Datorită unor confuzii din teoria actuală a mașinii sincrone, nu se dispune de relațiile pentru calculul exact al parametrilor în funcție de determinările experimentale. În aceste condiții se admit aproximații nejustificate la calculul parametrilor și se ajunge uneori la discrepanțe inadmisibile între rezultatele teoretice și experimentale [1], [5].

Elaborarea modelelor matematice și determinarea experimentală a parametrilor mașinii sincrone sînt probleme corelate, care se tratează de multe ori în mod separat. Ne propunem să corelăm aceste probleme pentru a răspunde la două necesități practice: identificarea experimentală a parametrilor și calculul regimurilor mașinii sincrone.

Realizarea obiectivelor propuse a necesitat reconsiderarea teoriei actuale a modelelor și parametrilor mașinii sincrone [8]. În cele ce urmează se expun în mod succint principalele idei care asigură înțelegerea metodelor propuse pentru identificarea parametrilor și pentru calculul regimurilor.

PARTEA I – MODELE PENTRU IDENTIFICAREA PARAMETRILOR

Identificarea experimentală a parametrilor mașinii sincrone se realizează prin analiza măsurătorilor efectuate la bornele înfășurărilor statorice a, b, c și la bornele înfășurării de excitație f, în timp ce înfășurările de amortizare D, Q sînt închise și inaccesibile măsurătorilor. În aceste condiții nu se pot determina toți parametrii electrici ai înfășurărilor (rezistențe și inductivități), ci se pot identifica numai parametrii unor modele matematice care permit calculul variabilelor de stare la bornele înfășurărilor a, b, c și f.

În cele ce urmează se prezintă mai întîi ecuațiile generale ale mașinii sincrone, în care circuitele a, b, c se înlocuiesc cu circuitele echivalente e, q, h, iar circuitele f, D, Q rămîn cele naturale. Ecuațiile menționate formează modelul matematic d, q, h, f, D, Q.

În continuare se face abstracție de circuitul homopolar, care este independent, și se studiază două modele matematice pentru identificarea parametrilor de regim tranzitoriu: modelul d, q, f pentru identificarea parametrilor de regim cvasistaționar și modelul d, q pentru identificarea parametrilor de regim cvasisinusoidal.

1. Modelul d, q, h, f, D, Q

Se consideră mașina sincronă idealizată și se notează cu a, b, c circuitele statorice și cu f, D, Q circuitele rotorice (fig. 1).

Mărimile de stare electrocinetică la bornele circuitelor (tensiunile și curenții) se asociază după cum urmează: pentru circuitele statorice a, b, c se utilizează convenția de la generatoare, pentru circuitul rotoric f se utilizează convenția de la receptoare, iar pentru circuitele închise D și Q se admit sensuri arbitrare ale curenților.

Ecuațiile de funcționare ale circuitelor se scriu mai întîi pentru componentele naturale a, b, c și f, D, Q, după care se trece la sistemul de componente normate, d, q, h:

$$\begin{aligned}
\Phi_d &= \sqrt{\frac{2}{3}}\, Re\,(\varphi_a + a\,\varphi_b + a^2\,\varphi_c)\,e^{-(j\omega t+\gamma_0)} \\
\Phi_q &= \sqrt{\frac{2}{3}}\, Im\,(\varphi_a + a\,\varphi_b + a^2\,\varphi_c)\,e^{-(j\omega t+\gamma_0)} \qquad (1) \\
\varphi_h &= \sqrt{\frac{1}{3}}\,(\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c)
\end{aligned}$$

unde

Re este operatorul „Real din"
Im — operatorul „Imaginar din"
a — operatorul de rotație $a = e^{j\,120°}$
γ_0 — unghiul electric al axei d față de axa a în momentul $t = 0$.

Schimbarea de variabile (1) are ca urmare înlocuirea ecuațiilor circuitelor statorice a, b, c:

$$v_s + R\,i_s = -\frac{d\,\varphi_s}{df} : s \in (a,\ b,\ c)$$

cu ecuațiile circuitelor d, q, h:

$$\begin{aligned}
V_d + R\,I_d &= -\frac{d\,\Phi_d}{dt} + \omega\,\Phi_q \\
V_q + R\,I_q &= -\frac{d\,\Phi_q}{dt} - \omega\,\Phi_d \qquad (2) \\
v_h + R\,i_h &= -\frac{d\,\varphi_h}{dt}
\end{aligned}$$

*) Dr. ing. Eugen Potolea este profesor la Institutul politehnic București.

În ecuațiile originare ale circuitelor a, b, c s-au asociat tensiunile la borne v_a, v_b, v_c cu curenții la borne i_a, i_b, i_c, după regula de la generatoare. În consecință, tensiunile V_d, V_q, v_h din ecuațiile transformate (2) sînt asociate cu curenții I_d, I_q, i_h după regula de la generatoare.

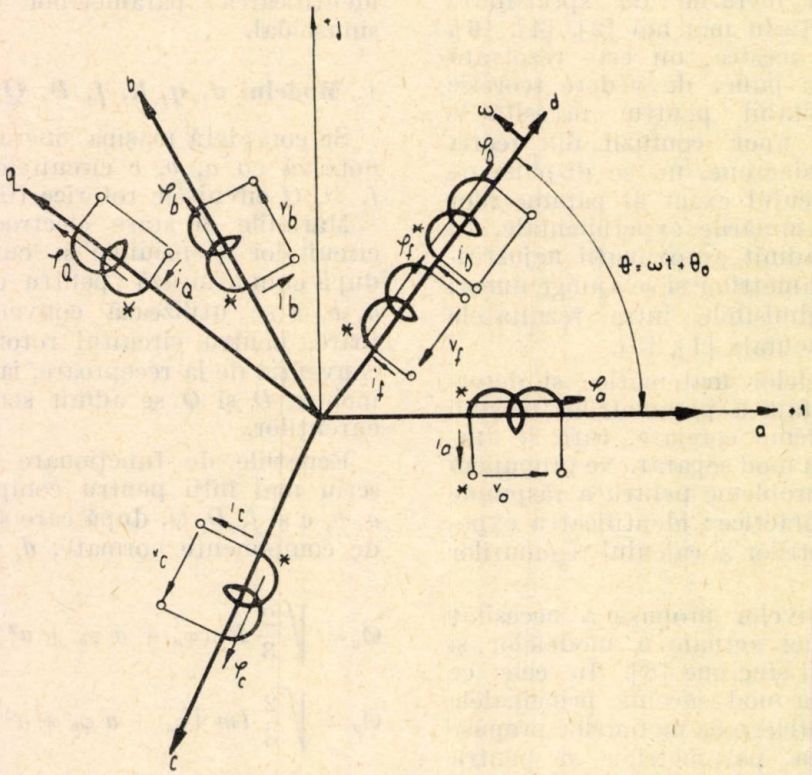


Fig. 1. Circuitele electrice ale mașinii sincrone.

Ecuațiile circuitelor rotorice f, D, Q se scriu folosind regula de la receptoare pentru circuitul f:

$$-V_f + R_f I_f = -\frac{d\,\Phi_f}{dt}$$

$$R_D I_D = -\frac{d\,\Phi_D}{dt} \qquad (3)$$

$$R_Q I_Q = -\frac{d\,\Phi_Q}{dt}$$

Fluxurile magnetice ale circuitelor electrice d, q, h se exprimă cu ajutorul teoremelor lui Maxwell referitoare la inductivități:

— pentru circuitele d, f, D din axa d:

$$\begin{aligned} \Phi_d &= L_d\ I_d - M_{df}\ I_f - M_{dD}\ I_D \\ \Phi_f &= -M_{df}\ I_d + L_f\ I_f + M_{fD}\ I_D \\ \Phi_D &= -M_{dD}\ I_d + M_{fD}\ I_f + L_D\ I_D \end{aligned} \qquad (4)$$

— pentru circuitele q, Q din axa q:

$$\begin{aligned} \Phi_q &= L_q\ I_q - M_{qQ}\ I_Q \\ \Phi_Q &= -M_{qQ}\ I_q + L_Q\ I_Q \end{aligned} \qquad (5)$$

— pentru circuitul homopolar:

$$\varphi_h = L_h\ i_h \qquad (6)$$

Inductivitățile naturale din (4) și (5) satisfac teorema reciprocității, deoarece transformarea (1) este normată. Semnele plus și minus din relațiile (4), (5) sînt convenționale: se consideră că circuitele rotorice f, D, Q sînt inductoare, iar circuitele echivalente d, q sînt induse. În corespondență cu aceste convenții se reprezintă bornele polarizate ale înfășurărilor (fig. 1) și sensurile curenților inductori (intră în bornele polarizate) și induși (ies din bornele polarizate).

Ecuațiile (2), (3), (4), (5), (6) formează modelul matematic d, q, h, f, D, Q, care conține variabile de stare pentru toate circuitele electrice ale mașinii. Nu se pot identifica experimental toți parametrii modelului deoarece nu se pot măsura variabilele de stare ale circuitelor de amortizare D, Q.

Modelul d, q, h, f, D, Q devine un model cu parametrii identificabili la bornele circuitelor d, q, h, f dacă regimul din aceste circuite este staționar. Anulînd derivatele de flux magnetic

din ecuaţiile (2), (3) şi făcînd abstracţie de circuitul homopolar h, se obţine $I_D = I_Q = 0$ şi :

$$\begin{aligned} V_{d0} + R\ I_{d0} &= \omega_0\ \Phi_{q0} \\ V_{q0} + R\ I_{q0} &= -\omega_0\ \Phi_{d0} \end{aligned} \tag{7}$$

sau

$$\begin{aligned} V_{d0} + R\ I_{d0} &= X_q\ I_{q0} \\ V_{q0} + R\ I_{q0} &= -X_d\ I_{d0} + E_{f0} \end{aligned} \tag{8}$$

şi

$$E_{f0} = X_{df}\ I_{f0}\,; \qquad V_{f0} = R_f\ I_{f0} \tag{9}$$

Rezistenţele R, R_f şi reactanţele sincrone X_q, X_d, X_{df} din ecuaţiile (8) şi (9) sînt parametrii de regim staţionar ai modelului d, q, f, D, Q.

Regimul staţionar din circuitele d, q corespunde cu regimul permanent sinusoidal din circuitele a, b, c. În consecinţă, parametrii R, R_f şi X_q, X_d, X_{df} sînt parametri de regim permanent sinusoidal al circuitelor a, b, c.

Regimul permanent sinusoidal din circuitele a, b, c se studiază cu ajutorul unei ecuaţii fazoriale, care rezultă din ecuaţiile (8) şi din transformarea (1).

Variabilele de stare i_a, i_b, i_c şi v_a, v_b, v_c din circuitele a, b, c formează sisteme simetrice de succesiune directă, la fel ca şi variabilele φ_a, φ_b, φ_c :

$$\varphi_a = \sqrt{2}\ Im\ \Phi\ e^{j(\omega t + \theta)}$$

$$\varphi_b = \sqrt{2}\ Im\ \Phi\ e^{j(\omega t + \theta - 120°)}$$

$$\varphi_c = \sqrt{2}\ Im\ \Phi\ e^{j(\omega t + \theta + 120°)}$$

Se defineşte fazorul staţionar de succesiune directă :

$$\underline{\Phi} = \sqrt{3}\ \Phi\ e^{j\theta}$$

şi se obţine din (1) :

$$\bar{\Phi} = -j\ \underline{\Phi}\ e^{-j\gamma_0} \tag{10}$$

unde $\bar{\Phi}$ este vectorul din planul complex al axelor d, j q :

$$\bar{\Phi} = \Phi_d + j\ \Phi_q$$

În funcţie de componentele staţionare d, q din (8) se exprimă vectorii $\bar{V}_0 = V_{d0} + jV_{q0}$ şi $\bar{I}_0 = I_{d0} + j\ I_{q0}$ şi se obţine din ecuaţiile (8) :

$$\begin{aligned} \bar{V}_0 + (R + j\ X_q)\ \bar{I}_0 &= j\ E_{q0} \\ E_{q0} &= E_{f0} + (X_d - X_q)\ I_{d0} \end{aligned} \tag{11}$$

Se definesc fazorii staţionari de succesiune directă $\underline{V}_0 = V_0\ e^{j\theta_0}$ şi $\underline{I}_0 = I_0\ e^{j(\theta_0 - \varphi_0)}$ şi se obţine din (10) şi (11)

$$\begin{aligned} \underline{V}_0 + (R + j\ X_q)\ \underline{I}_0 &= E_{q0}\ e^{j(\delta_0 + \theta_0)} \\ E_{q0} &= E_{f0} - (X_d - X_q)\ I_0 \sin \delta_0 \end{aligned} \tag{12}$$

unde

$$\delta_0 + \theta_0 = \gamma_0 + 180° \tag{13}$$

Cu relaţia (13) se elimină γ_0 din (10) :

$$\bar{\Phi}_0 = j\ \underline{\Phi}_0\ e^{-j(\delta_0 + \theta_0)} = j\ \Phi_0\ e^{-j\delta_0} \tag{14}$$

sau

$$\Phi_{d0} = \Phi_0 \sin \delta_0\,; \quad V_{q0} = \Phi_0 \cos \delta_0 \tag{15}$$

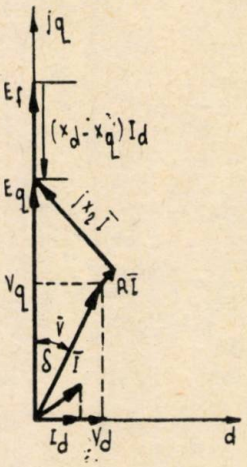


Fig. 2 *a*. Diagrama vectorială de funcţionare în regim staţionar pentru circuitele d, q.

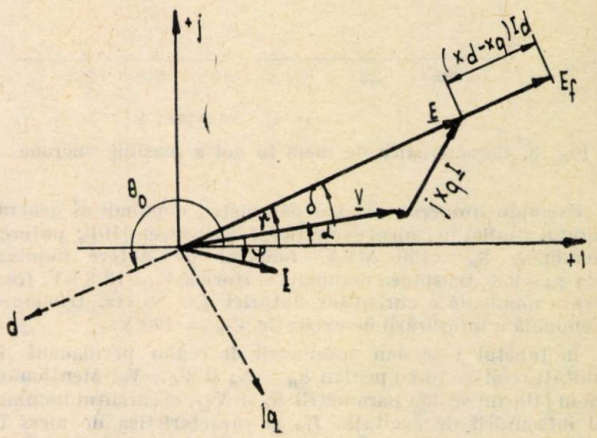


Fig. 2 *b*. Diagrama fazorială de funcţionare în regim permanent sinusoidal pentru circuitul de succesiune directă.

Din relaţiile (12) rezultă că $\underline{Z} = R + j\ X_q$ este impedanţa de succesiune directă, iar $E_{q_0}\ e^{j(\delta_0 + \theta_0)}$ este tensiunea electromotoare de succesiune directă. Deoarece E_{q0} depinde de I_0 şi δ_0, maşina sincronă se comportă ca un element neliniar al reţelei de succesiune directă.

Pe baza ecuaţiilor (11) şi (12) se construiesc diagramele vectorială (fig. 2 *a*) şi fazorială (fig. 2 *b*). Din cele două diagrame rezultă că δ_0 este unghiul electric intern, iar $\delta_0 + \theta_0$ este unghiul electric extern sau argumentul fazorului $\underline{E}_0$ faţă de o axă de referinţă arbitrară.

Sînt cunoscute metodele pentru determinarea experimentală a rezistenţelor R, R_f şi reactanţelor X_q, X_d.

Reactanţa X_{df} se determină dintr-un regim (nesaturat) de mers în gol ($I = 0$). Se măsoară I_{f0} şi $V_0 = E_{f0}$ şi se calculează $X_{df} = E_{f0}/I_{f0}$. Menţionăm că V_0 este valoarea efectivă a tensiunii dintre două borne statorice $a - b$ sau $b - c$ sau $c - a$.

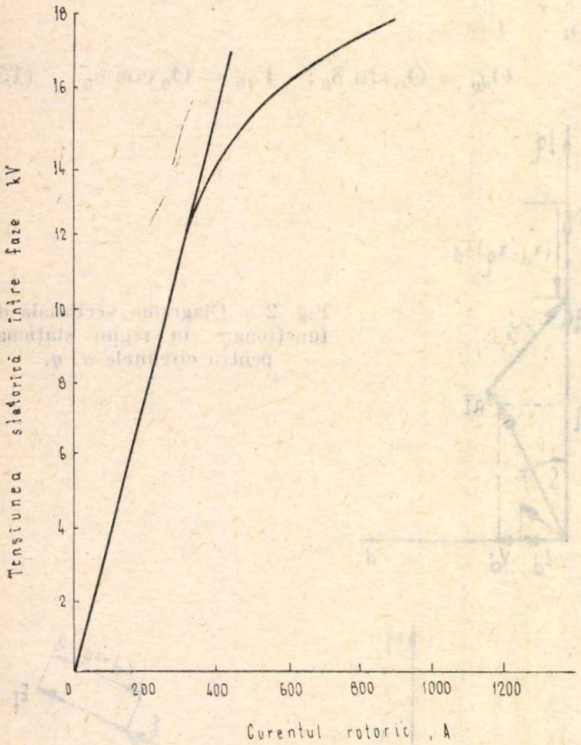


Fig. 3. Caracteristica de mers în gol a maşinii sincrone.

Exemplu numeric. Se dau parametrii nominali ai generatorului studiat în cadrul exerciţiului Northfleet [10] : puterea nominală $S_n = 150$ MVA, factorul de putere nominal $\cos \varphi_n = 0{,}8$, tensiunea nominală statorică $V_n = 13{,}8$ kV, frecvenţa nominală a curenţilor statorici $f = 50$ Hz, tensiunea nominală a înfăşurării de excitaţie $V_{fn} = 490$ V.

În tabelul 1 se dau parametrii de regim permanent în unităţi relative (u.r.) pentru $S_B = S_n$ şi $V_B = V_n$. Menţionăm că în [10] nu se dau parametrii R_f şi X_{df}, ci curentul nominal al înfăşurării de excitaţie I_{fn} şi caracteristica de mers în gol (fig. 3). Parametrii R_f, X_{df} s-au calculat cu relaţiile $R_f = V_{fn}/I_{fn}$ şi $X_{df} = V_0/I_{f0}$, unde V_0 şi I_{f0} sînt coordonatele unui punct de pe partea liniară a caracteristicii de mers în gol.

Tabelul 1

Parametrii de regim permanent, în u.r.

X_q	X_d	X_{df}	R_f	R
1,76	1,85	29,31	0,36	0,0014

2. Modelul d, q, f

Modelul d, q, f se obţine din modelul d, q, f, D, Q prin eliminarea variabilelor de stare ale înfăşurărilor de amortizare D, Q.

Se liniarizează ecuaţiile (3), (4), (5) şi se aplică transformata Carson. Din ecuaţiile transformate se elimină fluxurile magnetice ale circuitelor rotorice Q, D, f şi se obţine :

— pentru circuitele din axa q :

$$\begin{vmatrix} \Delta\Phi_q \\ \hline 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} L_q & -M_{qQ} \\ \hline -pM_{qQ} & R_Q + pL_Q \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta I_q \\ \hline \Delta I_Q \end{vmatrix} \tag{16}$$

— pentru circuitele din axa d :

$$\begin{vmatrix} \Delta\Phi_d \\ \hline \Delta V_f \\ \hline 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} L_d & -M_{df} & -M_{dD} \\ \hline -pM_{df} & R_f + pL_f & pM_{fD} \\ \hline -pM_{dD} & pM_{fD} & R_D + pL_D \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta I_d \\ \hline \Delta I_f \\ \hline \Delta I_D \end{vmatrix} \tag{17}$$

Din ecuaţiile (16) şi (17) se elimină curenţii ΔI_Q, ΔI_D (anexa 1) :

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_q &= L_q(p)\,\Delta I_q \\ \Delta\Phi_d &= L_{dd}(p)\,\Delta I_d - M_{df}(p)\,\Delta I_f \\ \Delta V_f &= -p\,M_{df}(p)\,\Delta I_d + R_{ff}(p)\,\Delta I_f \end{aligned} \tag{18}$$

unde

$$L_q(p) = L_q \frac{1 + pT'_Q}{1 + pT_Q} \tag{19}$$

$$L_{dd}(p) = L_d \frac{1 + pT'_D}{1 + pT_D}$$

$$M_{df}(p) = M_{df} \frac{1 + pT'_{df}}{1 + pT_D}$$

$$R_{ff}(p) = R_f \frac{(1 + pT'_{d0})(1 + pT''_{d0})}{1 + pT_D}$$

Ecuaţiile originare (2) împreună cu ecuaţiile transformate (18) formează modelul matematic q, d, f. Cu relaţiile (19) se definesc operatorii modelului q, d, f.

Constantele de timp T'_Q, T_Q şi T'_D, T_D, T'_{d0}, T''_{d0}, care determină polii şi zerourile operatorilor $L_q(p)$ şi $L_{dd}(p)$, $R_{ff}(p)$, formează un sistem complet de parametri tranzitorii independenţi. Constanta T'_{df} de la numărătorul operatorului $M_{df}(p)$ este un parametru auxiliar, care se calculează în funcţie de cei independenţi (paragraful 4). În consecinţă este suficient să se identifice experimental numai operatorii $L_q(p)$ şi $L_{dd}(p)$, $R_{ff}(p)$.

În [8] se dau detalii cu privire la determinarea experimentală a operatorilor $L_q(p)$, $L_{dd}(p)$, $R_{ff}(p)$ din trei încercări cu rotorul imobil.

Operatorul $L_q(p)$. Axa rotorică d se suprapune cu axa statorică a. Circuitele a și f sînt deschise, iar bornele $b - c$ sînt conectate la tensiunea continuă V_0 (fig. 4 *a*). Se scurtcircuitează bornele $b-c$ și se oscilografiază curentul i, care se exprimă cu relația :

$$\frac{i}{i_0} \doteq 1 - \frac{1}{1 + p \frac{L_q}{R} \frac{i + P\,T'_0}{1 + p\,T_Q}} \qquad (20)$$

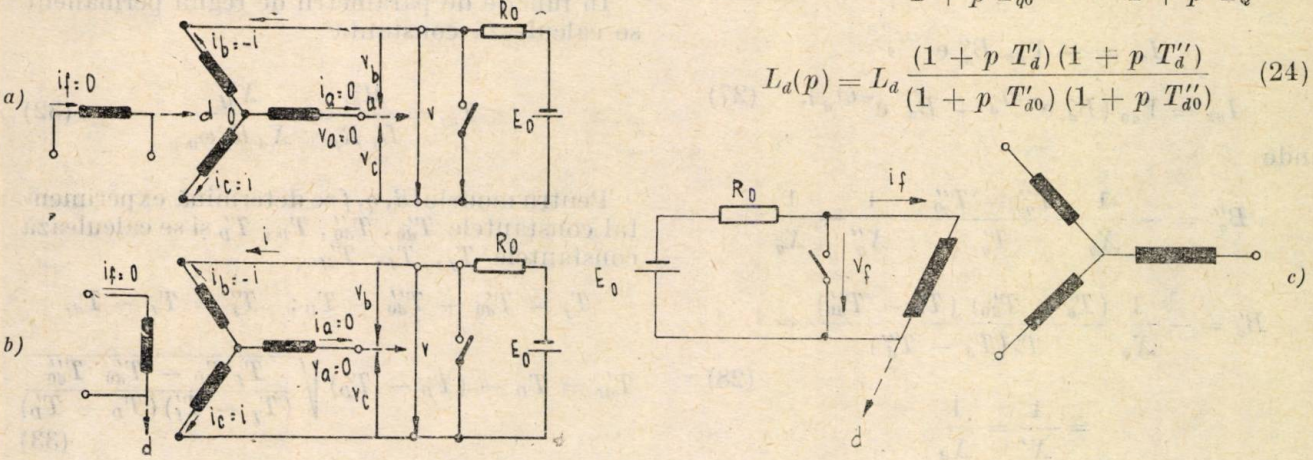


Fig. 4, *a* – identificarea operatorului $L_q(p)$; *b* – identificarea operatorului $L_{dd}(p)$; *c* – identificarea operatorului $R_{ff}(p)$.

Operatorul $L_{dd}(p)$. Axa rotorică q se suprapune cu axa statorică a. Circuitele a și f sînt deschise, iar bornele $b - c$ sînt conectate la tensiunea continuă V_0 (fig. 4 *b*). Se scurtcircuitează bornele $b-c$ și se oscilografiază curentul i, care se exprimă cu relația :

$$\frac{i}{i_0} \doteq 1 - \frac{1}{1 + p \frac{L_d}{R} \frac{i + p\,T'_D}{1 + p\,T_D}} \qquad (21)$$

Operatorul $R_{ff}(p)$. Poziția rotorului imobilizat este indiferentă. Circuitele a, b, c sînt deschise, iar bornele circuitului de excitație sînt conectate la tensiunea continuă V_f (fig. 4 *c*). Se scurtcicruitează bornele circuitului de excitație și se oscilografiază curentul i_f, care se exprimă cu relația :

$$\frac{i_f}{if_0} \doteq 1 - \frac{1 + p\,T_D}{(1 + p\,T'_{d0})\,(1 + p\,T''_{d0})} \qquad (22)$$

Din analiza răspunsurilor tranzitorii (20), (21), (22) se determină constantele de timp în ordinea T'_Q, T_Q, T'_D, T_D și T'_{d0}, T''_{d0}.

3. Modelul *d*, *q*

Modelul d, q se obține din modelul d, q, f, D, Q prin eliminarea variabilelor de stare ale înfășurărilor rotorice f, D, Q. Procedînd la fel ca la par. 2, se obțin mai întîi ecuațiile (16), (17), din care se elimină apoi toți curenții rotorici ΔI_Q, ΔI_D, ΔI_f (anexa 1) :

$$\Delta \Phi_q = L_q(p)\,\Delta I_q \qquad (23)$$

$$\Delta \Phi_d = L_d(p)\,\Delta I_d - T_{df}(p)\,\Delta V_f,$$

unde

$$L_q(p) = L_q \frac{1 + p\,T'''_q}{1 + p\,T'''_{q0}} = L_q \frac{1 + p\,T'_Q}{1 + p\,T_Q}$$

$$L_d(p) = L_d \frac{(1 + p\,T'_d)(1 + p\,T'''_d)}{(1 + p\,T'_{d0})(1 + p\,T'''_{d0})} \qquad (24)$$

$$T_{df}(p) = \frac{M_{df}}{R_f} \frac{1 + p\,T'_{df}}{(1 + p\,T'_{d0})(1 + p\,T''_{d0})}$$

Ecuațiile orginare (2) împreună cu ecuațiile transformate (23) formează modelul matematic d, q. Cu relațiile (24) se definesc operatorii modelului d, q. Constantele de timp T'''_q, T'''_{q0} și T'_d, T'''_d și T'_{d0}, T'''_{d0}, care determină polii și zerourile operatorilor $L_q(p)$ și $L_d(p)$, formează un sistem complet de parametri tranzitorii independenți. Constanta T'_{df} de la numărătorul operatorului $T_{dr}(p)$ este un parametru auxiliar, care se calculează în funcție de cei independenți (par. 4). În consecință este suficient să se identifice experimental numai operatorii $L_q(p)$ și $L_d(p)$.

Operatorii $L_q(p)$ și $L_d(p)$ se identifică prin analiza curenților de scurtcircuit în sarcină. Pentru a exprima curenții de scurtcircuit se admit aproximațiile regimului cvasi-sinusoidal ($\omega \simeq \omega_0$, $d\Phi_d/dt \simeq 0$, $d\Phi_q/dt \simeq 0$) și $R \simeq 0$ și se obține din (2) :

$$\Delta V_d = \omega_0\,\Delta \Phi_q \qquad (25)$$

$$\Delta V_q = -\omega_0\,\Delta \Phi_d$$

Încercarea de scurtcircuit se efectuează cu tensiunea de excitație constantă ($\Delta V_f = 0$) și cu tensiunile inițiale de mers în sarcină V_{d0}, V_{q0}.

Din relaţiile (23) şi (25) rezultă :

$$\Delta I_q = \frac{\Delta V_d}{X_q(p)} = -\frac{V_{d0}}{X_q}\,\frac{1+p\,T''_{q0}}{1+p\,T''_q} \qquad (26)$$

$$\Delta I_d = -\frac{\Delta V_q}{X_d(p)} = \frac{V_{q0}}{X_d}\,\frac{(1+p\,T'_{d0})(1+p\,T''_{d0})}{(1+p\,T'_d)(1+p\,T''_d)}$$

Componentele tranzitorii aperiodice ale curenţilor de scurtcircuit sînt :

$$I_{qt} = -\,V_{d0}\,B''_q\,e^{-t/T''_q}$$

$$I_{dt} = V_{q0}\,(B'_d\,e^{-t/T'_d} + B''_d\,e^{-t/T''_d}), \qquad (27)$$

unde

$$B''_q = -\frac{1}{X_q}\,\frac{T''_q - T''_{q0}}{T''_q} = \frac{1}{X''_q} - \frac{1}{X_q}$$

$$B'_d = -\frac{1}{X_d}\,\frac{(T'_d - T'_{d0})\,(T'_d - T''_{d0})}{T'_d\,(T'_d - T''_d)} = \qquad (28)$$

$$= \frac{1}{X'} = \frac{1}{X_d}$$

$$B''_d = -\frac{1}{X_d}\,\frac{(T''_d - T'_{d0})\,(T''_d - T''_{d0})}{T''_d\,(T''_d - T'_d)} =$$

$$= \frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'}$$

Din analiza oscilogramelor curenţilor de scurtcircuit rezultă constantele T''_q, B''_q pentru axa q şi T'_d, T''_d, B'_d, B''_d, pentru axa d. În tabelele cu caracteristicile generatoarelor nu se dau constantele B''_q şi B''_d, B'_d, ci reactanţele X''_q şi X', X''_d. În aceste condiţii se calculează T''_{q0} din primele relaţii (28) şi T'_{d0}, T''_{d0} din ultimele relaţii (28) :

$$T'_{d0} + T''_{d0} = T'_d\,\frac{X_d}{X'} + T''_d\left(1 + \frac{X_d}{X''_d} - \frac{X_d}{X'}\right)$$

$$T'_{d0}\,T''_{d0} = T'_d\,T''_d\,\frac{X_d}{X''_d} \qquad (29)$$

Reactanţele X''_q şi X''_d poartă numele de reactanţe subtranzitorii deoarece se definesc cu relaţiile :

$$X''_q = \lim_{p\to\infty} X_q(p) = X_q\,\frac{T''_q}{T''_{q0}}$$

$$X''_d = \lim_{p\to\infty} X_d(p) = X_d\,\frac{T'_d\,T''_d}{T'_{d0}\,T''_{d0}} \qquad (30)$$

Definiţiile din (30) corespund cu cele din (28) şi (29) pentru X''_q şi X''_d. Cu relaţiile (28) sau (29) se defineşte o reactanţă suplimentară X', care nu se confundă cu reactanţa tranzitorie X'_d a maşinii fără înfăşurări de amortizare :

$$X'_d = \lim_{p\to\infty} X_d\,\frac{1+p\,T'_f}{1+p\,T_f} = X_d\,\frac{T'_f}{T_f} \qquad (31)$$

4. Calculul constantelor de timp

În funcţie de parametrii de regim permanent se calculează constanta

$$T_{df} = \frac{M^2_{df}}{L_d\,R_f} = \frac{X^2_{df}}{X_d\,R_f\,\omega_0} \qquad (32)$$

Pentru modelul d, q, f se determină experimental constantele T'_{d0}, T''_{d0}, T_D, T'_D şi se calculează constantele T_f, T'_f, T'_{df}

$$T_f = T'_{d0} + T''_{d0} - T_D\,; \quad T'_f = T_f - T_{df}$$

$$T'_{df} = T_D - (T_D - T'_D)\sqrt{\frac{T_f\,T_D - T'_{d0}\,T''_{d0}}{(T_f - T'_f)\,(T_D - T'_D)}} \qquad (33)$$

Prima relaţie din (33) rezultă din (A.7), iar a doua relaţie din (33) rezultă din (32) şi (A.4). Ultima relaţie (33) este demonstrată în anexă.

Pentru modelul d, q se determină experimental parametrii T'_d, T''_d, X', X''_d şi apoi se calculează constantele T'_{d0}, T''_{d0} din relaţiile (29). În continuare se calculează constantele T'_{df} şi T_D, T'_D şi T_f, T'_f, după cum urmează :

— Se elimină ΔI_f din ultimele ecuaţii (18) şi se obţine ultima ecuaţie din (23), în care :

$$L_d(p) = L_{dd}(p) - p\,\frac{M^2_{df}(p)}{R_{ff}(p)} \qquad (34)$$

Se introduc în (34) expresiile operatorilor din (24) şi (19) şi se identifică coeficienţii :

$$\begin{aligned} &T'_{d0} + T''_{d0} - (T'_d + T''_d) - (T_D - T'_D) = T_{df} \\ &T'_{d0}\,T''_{d0} - T'_d\,T''_d + (T'_{d0} + T''_{d0})\,T'_D - \\ &\quad - (T'_d + T''_d)\,T_D = 2\,T_{df}\,T'_{df} \\ &T'_{d0}\,T''_{d0}\,T'_D - T'_d\,T''_d\,T_D = T_{df}\,T'^2_{df}. \end{aligned} \qquad (35)$$

Cu prima şi cu ultima relaţie din (35) se formează un sistem de ecuaţii care se rezolvă în raport cu T_D, T'_D şi apoi se utilizează a doua relaţie din (35) :

$$T_D = \frac{1}{B}\,[(A - T_{df})\,T'_{d0}\,T''_{d0} + T_{df}\,T'^2_{df}]$$

$$T'_D = \frac{1}{B}\,[(A - T_{df})\,T'_d\,T''_d + T_{df}\,T'^2_{df}] \qquad (36)$$

şi :

$$A T'^2_{df} - 2 B T'_{df} + C = \frac{AC - B^2}{T_{df}}, \quad (37)$$

unde

$$\begin{aligned} A &= T'_{d0} + T''_{d0} - (T'_d + T''_d) \\ B &= T'_{d0}\, T''_{d0} - T'_d\, T''_d \\ C &= T'_{d0}\, T''_{d0}(T'_d + T''_d) - \\ &\quad - T'_d\, T''_d\, (T'_{d0} + T''_{d0}) \end{aligned} \quad (38)$$

Rădăcina mică a ecuaţiei (37) este soluţia problemei (se ia semnul minus în faţa radicalului) :

$$T'_{df} = \frac{B}{A}\left(1 - \sqrt{\frac{\frac{A}{T_{df}} - 1}{\frac{A}{T_{df0}} - 1}}\right), \quad (39)$$

unde

$$T_{df0} = A - \frac{B^2}{C} \quad (40)$$

După determinarea constantei T'_{df} se calculează T_D, T'_D cu relaţiile (36) şi apoi T_f, T'_f cu relaţiile :

$$\begin{aligned} T_f &= T'_{d0} + T''_{d0} - T_D \\ T'_f &= T'_d + T''_d - T'_D \end{aligned} \quad (41)$$

Opţiunea asupra rădăcinii mici a ecuaţiei (37) se justifică prin considerente energetice şi se verifică experimental prin oscilografierea curentului de excitaţie.

Curentul de excitaţie rezultă din ultima ecuaţie (18), în care se consideră $V_f = 0$ şi se elimină I_d cu ajutorul relaţiei a doua din (26) :

$$\Delta I_f = p\, \frac{M_{df}(p)}{R_{ff}(p)}\, \Delta I_d = V_{q0}\, \frac{p M_{df}(p)}{X_d(p)\, R_{ff}(p)}$$

Dacă maşina funcţionează în gol în momentul iniţial, atunci $V_{q0} = X_{df}\, I_{f0}$ şi se obţine :

$$\begin{aligned} \Delta I_f &= I_{f0}\, T_{df} \frac{p(1 + p\, T'_{df})}{(1 + p\, T'_d)(1 + p\, T''_d)} = \\ &= I_{f0}(F'\, e^{-t/T'_d} - F''\, e^{-t/T''_d}), \end{aligned} \quad (42)$$

unde

$$\begin{aligned} F' &= T_{df} \frac{T'_d - T'_{df}}{T'_d(T'_d - T''_d)} \\ F'' &= T_{df} \frac{T''_d - T'_{df}}{T''_d\,(T'_d - T''_d)} \end{aligned} \quad (43)$$

Din analiza oscilogramelor rezultă că ambele constante F', F'' sînt pozitive şi ca urmare constanta T'_{df} este mai mică decît cea mai mică dintre constantele T'_d, T''_d, adică $T'_{df} < T''_d$. Calculele efectuate arată că numai rădăcina mică a ecuaţiei (37) satisface condiţia $T'_{df} < T''_d$.

Exemplu numeric. Se dau parametrii tranzitorii (tabelul 2) pentru axa d a generatorului studiat în exerciţiul Northfleet [10]. Parametrii tranzitorii sînt determinaţi din încercarea de scurtcircuit trifazat cu tensiunea iniţială de mers în gol $V_0 = 0{,}5\ V_n$. Tensiunea $V_0 = 0{,}5\ V_n$ corespunde unui regim iniţial nesaturat (fig. 3) şi, ca urmare, parametrii din tabelul 2 sînt parametri nesaturaţi.

Tabelul 2

Parametrii tranzitorii (nesaturaţi) pentru axa d

T'_d, s	T''_d, s	X', u. r.	X''_d, u. r.
0,97	0,046	0,27	0,91

Folosind relaţiile (29), (32), şi (38), (40), se calculează constantele din tabelul 3.

Tabelul 3

Constantele T'_{do}, T''_{do} şi T_{df}, T_{df0}

T'_{do}, s	T''_{do}, s	T_{df}, s	A, s	B, s^2	T_{df0}, s
6,7607	0,0643	4,1080	5,8090	0,3898	4,6987

Se constată că $T_{df} < T_{df0}$ şi ca urmare constanta T'_{df} din (39) rezultă negativă. Acest rezultat pare surprinzător, însă se justifică matematic deoarece parametrul auxiliar T'_{df} nu este o constantă de timp pozitiv definită. În paragraful 9 se va da o altă justificare acestui rezultat.

Cu relaţiile (39), (36), (41), (31) se calculează constantele T'_{df} şi T_D, T'_D şi T_f, T'_f şi X'_d pentru trei variante (tabelul 4) determinate de valorile constantei T_{df}.

Tabelul 4

Constantele calculate pentru axa d

	T_{df}, s	T'_{df}, s	T_D, s	T'_D, s	T_f, s	T'_f, s	X'_d, u.r.
1	4,1080	− 0,0217	1,9007	0,1997	4,9243	0,8163	0,307
2	4,2180	− 0,0177	1,7765	0,1855	5,0485	0,8305	0,403
3	4,6987	0	1,2374	0,1271	5,5876	0,8889	0,294

Valorile constantei T_{df} din variantele 2 și 3 sînt cu 2,7 % și 14,4 % mai mari decît valoarea T_{df}=4,108 s din varianta 1. Nu este exclus ca la determinarea constantei T_{df} să se comită erori de circa 15 % și mai mari dacă nu se ține seama de variația rezistenței R_f cu temperatura înfășurării de excitație. Se constată că variația constantei T_{df} cu 2,7 % ~ 14,4 % provoacă variația constantei T'_{df} cu 20 % ~ 100 %. În timp ce constanta T'_{df} variază sensibil cu T_{df}, reactanța X'_d scade lent odată cu creșterea constantei T_{df}. Este posibil ca pentru o anumită valoare a lui $T_{df} > T_{df0}$ să se realizeze egalitatea $X'_d = X'$.

În tabelul 5 se dau rezultatele calculului curentului de excitație cu relațiile (43) și cu relațiile :

$$\Delta I_{f0} = I_{f0}(F' - F'') = I_{f0}\frac{T_{df}\,T'_{df}}{T'_d\,T''_d}$$

$$\Delta I_{f\,max} = I_{f0}\,F'\,e^{-t\,max/T'_d} - F''e^{-t\,max/T''_d}) \qquad (44)$$

$$t_{max} = \frac{T'_d\,T''_d}{T'_d - T''_d}\ln\frac{T'_d\,F''}{T''_d\,F'}$$

Tabelul 5

Calculul curentului de excitație

F'	F''	$\Delta I_{f0}/I_{f0}$	$\Delta I_{fmax}/I_{f0}$	t_{max}, s
4,54	6,57	— 2,03	3,65	0,165

În tabelul 5 se remarcă valoarea inițială negativă ΔI_{f0}, care este consecința faptului că $T'_{df} < 0$ și deci $F' < F''$. Acest rezultat va fi comentat în partea a doua a articolului.

Concluzii la partea I

Determinarea experimentală a parametrilor mașinii sincrone se realizează prin identificarea unor operatori sau a unor funcții de transfer la bornele înfășurărilor echivalente d, q și la bornele înfășurării de excitație f. Nu se pot determina toți parametrii electrici ai înfășurărilor d, q, f și D, Q deoarece înfășurările de amortizare D, Q nu sînt accesibile măsurătorilor.

Se face distincție între două categorii de parametri, de regim permanent și de regim tranzitoriu.

Parametrii de regim permanent (nesaturat) sînt rezistențele R, R_f și reactanțele X_q, X_d, X_{df}.

Parametrii de regim tranzitoriu se definesc pentru două modele operaționale d, q, f și d, q.

Parametrii tranzitorii independenți ai modelului d, q, f sînt constantele de timp :

$$T'_D,\ T_D,\ T'_{d0},\ T''_{d0} \text{ și } T''_q,\ T''_{q0}.$$

Parametrii tranzitorii ai modelului d, q sînt constantele de timp :

$$T'_d,\ T''_d,\ T'_{d0},\ T''_{d0} \text{ și } T''_q,\ T''_{q0},$$

sau constantele de timp și reactanțele :

$$T'_d,\ T''_d,\ T''_q \text{ și } X',\ X''_d,\ X''_q.$$

Reactabnța X' a modelului d, q nu se identifică cu reactanța tranzitorie X'_d a mașinii fără înfășurări de amortizare.

Modelul d, q, f este un model exact pentru identificarea parametrilor de regim cvasistaționar. Constantele de timp ale modelului se determină prin analiza numerică a răspunsurilor tranzitorii din trei încercări cu rotorul imobil (fig. 4). Din fiecare analiză rezultă numai două constante de timp, ceea ce asigură o bună precizie a rezultatelor.

Menționăm că montajele din figura 4 pot fi folosite și în metoda analizei frecvențiale.

Identificarea parametrilor modelului d, q, f din trei încercări implică valabilitatea teoremei suprapunerii efectelor. În consecință modelul d, q, f se utilizează numai la identificarea parametrilor mașinii idealizate (circuitele magnetice nesaturate).

Modelul d, q este utilizat în mod curent la identificarea parametrilor admițînd aproximațiile regimului cvasisinusoidal. Constantele de timp ale modelului se determină prin analiza numerică a răspunsurilor tranzitorii din încercarea de scurtcircuit trifazat în sarcină. Precizia rezultatelor este afectată nu numai de aproximațiile regimului cvasisinusoidal, dar mai ales de erorile inevitabile care apar la separarea componentelor aperiodice și la analiza numerică pentru determinarea celor șase constante de timp ale circuitelor din axele d și q. Identificarea parametrilor modelului d, q este posibilă în regim saturat sau nesaturat.

Ambele modele d, q, f și d, q conțin un parametru tranzitoriu auxiliar T'_{df}, care are dimensiunea timpului, dar nu este o constantă de timp pozitiv definită. Constanta T'_{df} este indispensabilă la formarea modelelor matematice pentru calculul regimurilor. În lipsa relațiilor stabilite de noi în paragraful 4 se admit aproximații nejustificate la formarea modelelor menționate, provocînd astfel erori de circa (20—30) % la calculul constantelor de timp subtranzitorii T''_{d0}, T''_d și deformînd complet rezultatele la calculul curentului de excitație (a se vedea partea a doua a articolului).

ANEXA 1

Operatori și constante de timp

Avînd în vedere eliminarea curenților rotorici din ecuațiile (16), (17), se calculează determinanții :

$$Q(p) = \begin{vmatrix} L_q & -M_{qQ} \\ -p_q\,M_{qQ} & R_Q + p\,L_Q \end{vmatrix} = L_q\,(R_Q + p\,L'_Q)$$

$$D(p) = \begin{vmatrix} L_d & -M_{df} & -M_{dD} \\ -pM_{df} & R_f + p\,L_f & pM_{fD} \\ -pM_{dD} & pM_{fD} & R_D + pL_D \end{vmatrix} =$$

$$= L_d \begin{vmatrix} R_f + pL'_f & -pM'_{fD} \\ -pM'_{fD} & R_D + pL'_D \end{vmatrix}$$

unde

$$L'_Q = L_Q - \frac{M^2_{qQ}}{L_q}; \qquad L'_D = L_D - \frac{M^2_{dD}}{L_d}$$

$$L'_f = L_f - \frac{M^2_{df}}{L_d}; \qquad M'_{fD} = M_{fD} - \frac{M_{df}\, M_{dD}}{L_d} \tag{A.1}$$

Ecuațiile (16) și (17) se rezolvă în raport cu curenții ΔI_q, ΔI_d:

$$\Delta I_q = \frac{R_Q + p\, L_Q}{Q(p)}\, \Delta \Phi_q$$

$$\Delta I_d = \frac{D_{dd}(p)}{D(p)}\, \Delta \Phi_d - \frac{D_{df}(p)}{D(p)}\, \Delta V_f \tag{A.2}$$

unde:

$$D_{dd}(p) = (R_f + p\, L_f)\,(R_D + p\, L_D) - p^2\, M^2_{fD}$$

$$D_{df}(p) = -\, M_{df}\,(R_D + p\, L_D) + p\, M_{dD}\, M_{fD}$$

Din (A.2) se exprimă fluxurile $\Delta \Phi_q$, $\Delta \Phi_d$ și se obțin ecuațiile (23), în care

$$L_q(p) = L_q\, \frac{R_Q + p\, L'_Q}{R_Q + p\, L_Q}$$

$$L_d(p) = L_d\, \frac{(R_f + p\, L'_f)\,(R_D + p\, L'_D) - p^2\, M'^2_{fD}}{(R_f + p\, L_f)\,(R_D + p\, L_D) - p^2\, M^2_{fD}} \tag{A.3}$$

$$T_{df}(p) = M_{df}\, \frac{R_D + p\left(L_D - \dfrac{M_{dD}\, M_{fD}}{M_{df}}\right)}{(R_f + p\, L_f)\,(R_D + p\, L_D) - p^2\, M^2_{fD}}$$

Se definesc constantele de timp naturale și tranzitorii ale înfășurărilor rotorice

$$T_Q = \frac{L_Q}{R_Q}; \quad T'_Q = T_Q\left(1 - \frac{M^2_{qQ}}{L_q\, L_Q}\right)$$

$$T_D = \frac{L_D}{R_D}; \quad T'_D = T_D\left(1 - \frac{M^2_{dD}}{L_d\, L_D}\right) \tag{A.4}$$

$$T_f = \frac{L_f}{R_f}; \quad T'_f = T_f\left(1 - \frac{M^2_{df}}{L_d\, L_f}\right)$$

și:

$$T'_{df} = T_D\left(1 - \frac{M_{dD}\, M_{fD}}{M_{df}\, L_D}\right) \tag{A.5}$$

Cu relațiile (A.4) și (A.5) se obține din (A.3):

$$L_q(p) = L_q\, \frac{1 + p\, T'_Q}{1 + p\, T_Q} = L_q\, \frac{1 + p\, T''_q}{1 + p\, T''_{q0}}$$

$$L_d(p) = L_d\, \frac{(1 + p\, T'_f)\,(1 + p\, T'_D) - p^2\, \dfrac{M'^2_{fD}}{R_f R_D}}{(1 + p\, T_f)\,(1 + p\, T_D) - p^2\, \dfrac{M^2_{fD}}{R_f R_D}} \tag{A.6}$$

$$T_{df}(p) = \frac{M_{df}}{R_f}\, \frac{1 + p\, T'_f}{(1 + pT_f)\,(1 + pT_D) - p^2\, \dfrac{M^2_{fd}}{R_f R_D}}$$

Din relațiile (A.6) rezultă relațiile (24), în care:

$$T'_d + T''_{d0} = T_f + T_D \tag{A.7}$$

$$T'_{d0}\, T''_{d0} = T_f\, T_D\left(1 - \frac{M^2_{fD}}{L_f\, L_D}\right)$$

și

$$T'_d + T''_d = T'_f + T'_D \tag{A.8}$$

$$T'_d\, T''_d = T'_f\, T'_D - T_f\, T_D\, \frac{M^2_{fD}}{L_f L_D}\left(1 - \frac{M_{df} \cdot M_{dD}}{L_d\, M_{fd}}\right)^2$$

Operatorii modelului d, q, f sînt:

$$L_q(p) = L_q\, \frac{R_Q + p\, L'_Q}{R_Q + p\, L_Q}$$

$$L_{dd}(p) = L_d\, \frac{R_D + pL'_D}{R_D + pL_D} \tag{A.9}$$

$$M_{df}(p) = M_{df}\, \frac{R_D + p\left(L_d - \dfrac{M_{dD}\, M_{fD}}{M_{df}}\right)}{R_D + p\, L_D}$$

$$R_{ff}(p) = \frac{(R_f + pL_f)\,(R_D + pL_D) - p^2 M^2_{fD}}{R_D + p\, L_D}$$

În relațiile (A.9) se introduc constantele de timp din (A.4), (A.5) și se obțin relațiile (19).

Din ultimele relații (A.4) și (A.7) rezultă:

$$\frac{M^2_{dD}}{L_d\, L_D} = \frac{T_D - T'_D}{T_D}$$

$$\frac{M^2_{df}}{L_d L_f} = \frac{T_f - T'_f}{T_f} \tag{A.10}$$

$$\frac{M^2_{fD}}{L_f L_D} = \frac{T_f\, T_D - T'_{d0}\, T''_{d0}}{T_f\, T_D}$$

și apoi

$$\frac{M_{dD} M_{df}}{M_{fD}} = L_d \sqrt{\frac{(T_f - T'_f)\,(T_D - T'_D)}{T_f\, T_D - T'_{d0}\, T''_{d0}}} \tag{A.11}$$

Cu prima relație din (A.10) și cu relația (A.11) se elimină inductivitățile mutuale din (A.5) și se obține:

$$T'_{df} = T_D - (T_D - T'_D)\sqrt{\frac{T_f\, T_D - T'_{d0}\, T''_{d0}}{(T_f - T'_f)\,(T_D - T'_D)}} \tag{A.12}$$

Bibliografie

[1] Adkins, B *The general theory of electrical machines.* Chapman Hall, 1964.

[2] Barbier, C. *Les modèles des machines électriques et de leurs organes de commande dans les études de comportement dynamique des réseaux.* E.d.F, Etudes des Réseaux, 1976.

[3] Barret, Ph. *Détermination des paramètres des machines synchrones par la méthode d'analyse fréquentielle.* În: R.G.E., decembrie 1967.

[4] Barret, R.G. și Roquefort, V. V. *Calculation and measurement of frequency response of large turboalternators in the presence of small disturbances.* În: IEEE Trans. PAS–92, iulie/august 1973, p. 1348–1357.

[5] Canay, M. *Causes of discrepancies on calculation of rotor quantities and exact equivalent diagrams of the synchronous machine.* In: IEEE Trans. PAS—88, nr. 7, 1969, 1114—1120.

[6] Gosbell, V.J. şi Webb, A.J. *Stationary decay tests of synchronous machines.* Raport CIGRE, 1972.

[7] Olive, D.W. *Digital simulation of synchronous machine transients.* În: IEEE Trans. PAS — 87, aug. 1968, p. 1669—1675.

[8] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcţionare ale sistemelor electroenergetice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1977.

[9] Rankine, A. *Per-unit impedances of synchronous machines.* În: AIEE Trans. 64, 1945, p. 569—573 şi p. 839—841.

[10] Shackshaft, G. şi Neilson, R. *Results of stability tests on an underexcited 120 MW.* În: Proc. IEE, 119, nr. 2, 1972.

[11] Wright, S. N. *Determination of synchronous machine constants by test.* În: Transactions AIEE, 1931, 50, p. 1331—1351.

(Articol intrat în redacţie la 31 ianuarie 1978)

Măsurarea rezistivităţii termice a solului

Ing. **D. C. Ionescu,**
Ing. **Gh. Bălan,**
Dr. ing. **L. M. Goia** *)

Trecerea curentului prin elementele unor reţele electrice situate în sol este însoţită totdeauna şi de procese de transmitere a căldurii. Din acest motiv, calculele de proiectare şi exploatare a liniilor electrice subterane şi a instalaţiilor de legare la pămînt a staţiilor de medie tensiune necesită cunoaşterea valorii rezistivităţii termice a solului.

În ţara noastră, în prezent se utilizează pentru rezistivitatea termică a solului o valoare medie dedusă din literatură, $\rho_t = 0{,}83$°C.m/W. În mod real, rezistivitatea termică a solului depinde de mulţi factori, dintre care cei mai importanţi s-au dovedit a fi: compoziţia, compactitatea şi umiditatea solului.

În urma cercetărilor întreprinse în cadrul ICEMENERG s-au pus la punct metodele şi aparatura necesară determinării, atît pe teren, cît şi în laborator, a rezistivităţii termice a solului, stabilindu-se principalii factori de influenţă, modul în care aceştia determină variaţiile rezistivităţii termice şi valorile reale pentru diferite soluri.

La stabilirea metodelor şi aparaturii şi la verificarea datelor obţinute s-a ţinut seama de realizările în acest domeniu [1], [2], [3], care s-au analizat critic şi s-au perfecţionat pe baza experienţei proprii a ICEMENERG.

1. Consideraţii teoretice

Formulele practice de calcul al rezistivităţii termice a materialelor se determină, atît în cazul regimului tranzitoriu cît şi în cazul celui permanent, cu ajutorul ecuaţiei Fourier

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} \qquad (1)$$

Pentru o sursă termică filiformă (utilizată în special la aparatura de determinare a rezistivităţii termice a solului), rezolvarea ecuaţiei Fourier în regim tranzitoriu conduce la următoarea expresie a temperaturii [1]:

$$\theta_{(r,t)} = \frac{Q \rho_t}{2\pi L} (C - \ln \beta), \qquad (2)$$

în care

ρ_t este rezistivitatea termică a solului (inversul conductivităţii termice λ), °C.m/W;

C — constanta Euler;

$\beta = \frac{r}{2\sqrt{\alpha_t}}$; $\alpha = \frac{\lambda}{\gamma_c}$ — coeficient de difuzivitate termică, cm²/s;

Q — puterea sursei, W;

r — distanţa la sursa termică filiformă, cm;

l — lungimea sursei termice, cm;

λ — conductibilitatea termică, W/°C.cm;

γ — densitatea, g/cm³;

c — căldura specifică, W.S/g.°C.

Calculînd diferenţa de temperatură pentru timpii t_1 şi t_2, după cîteva transformări, se obţine:

$$\rho_t = \frac{4\pi L}{Q} \frac{\Delta\theta}{\ln \frac{t_2}{t_1}}, \qquad (3)$$

unde $\Delta\theta$ este diferenţa de temperatură corespunzătoare timpilor t_1 şi t_2 (°C).

În cazul regimului stabilizat, pentru aceeaşi sursă termică filiformă:

$$\rho_t = \frac{2\pi L}{Q} \cdot \frac{\Delta\theta}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \qquad (4)$$

unde, în afara notaţiilor cunoscute, r_1 şi r_2 sînt distanţele faţă de sursă ale punctelor între care se măsoară diferenţa de temperatură $\Delta\theta$ în regim de încălzire stabilizat (r_1 este distanţa cea mai scurtă pînă la sursa termică).

* Ing. Gh. Bălan este director adjunct ştiinţific la ICEMENERG; ing. D. C. Ionescu şi L. M. Goia sînt cercetători ştiinţifici la ICEMENERG.

Unitatea de măsură a rezistivității termice, aleasă convenabil pentru valorile obișnuite pentru sol, este : °C. cm/W sau °C.m/W ; alte unități frecvent utilizate sînt: °C.cm · s/cal sau °C.m.h/kcal.

2. Metode și aparate de măsură a rezistivității termice a solului

2.1. *Generalități*

Măsurarea rezistivității termice a solului se poate executa atît în laborator cît și pe teren. Măsurătorile de laborator, efectuate pe probe prelevate din teren, oferă avantajul unui control riguros al condițiilor fizice ale probei de sol, dificil de realizat în cazul măsurătorilor de teren (se pretează în special la determinarea curbelor de variație a rezistivității termice funcție de diferiți parametri). Măsurătorile de laborator prezintă însă dezavantajul alterării structurii solului prin prelevarea probei și totodată necesită un consum de timp relativ mare.

Măsurătorile de teren oferă, față de cele de laborator, avantajul unei alterări minime a structurii solului în zona de măsură, iar aparatura de teren este astfel construită, încît permite o productivitate mai mare decît cea utilizată la măsurătorile de laborator.

Funcție de regimul de încălzire, metodele de determinare a rezistivității termice a solului pot fi bazate fie pe regimul tranzitoriu, fie pe cel permanent.

Măsurarea rezistivității termice impune, în general, existența unei surse termice și a unui sistem de măsurare a temperaturilor cu inerție termică foarte mică (de regulă termocuple). La măsurătoarea în regim tranzitoriu, dotarea experimentatorului se completează cu un instrument de măsurat timpul (cronometru). Măsurarea în regim permanent de încălzire nu necesită cronometru, dar impune o măsurare exactă a distanțelor dintre sesizoarele de temperatură introduse în proba de sol, presupune un consum mai mare de timp (ore) și se efectuează de regulă în laborator.

Măsurătorile în regim tranzitoriu (90—100 minute) sînt mult mai operative decît cele în regim permanent și se pretează la aplicare în teren.

În general, măsurătorile de laborator, în orice regim de încălzire, presupun o izolație termică cît mai bună a probei de sol și deci o aparatură mai scumpă și mai ușor defectabilă.

Sursa termică se alege astfel încît să producă un cîmp termic de o formă geometrică ușor calculabilă. Cele mai frecvente surse termice utilizate sînt cele filiforme, apoi cele superficiale sînt utilizate exclusiv în laborator și implică o izolare periferică specială împotriva pierderilor de căldură laterale.

Pentru măsurătorile de teren, sursa cea mai adecvată este cea filiformă, care prezintă mare comoditate din punctul de vedere al simetriei și uniformității cîmpului termic și nu necesită o izolare termică specială.

În general, ca surse termice sînt utilizate rezistențele electrice metalice, care permit o măsurare a energiei disipate fără erori considerabile și totodată produc un cîmp termic uniform și constant.

Pentru obținerea unor informații cît mai complete, cu erori minime, în ICEMENERG au fost conjugate metodele de teren cu cele de laborator, utilizîndu-se atît măsurări în regim tranzitoriu, cît și măsurări în regim permanent.

S-a studiat o mare gamă de sonde termice în variante îmbunătățite față de modelele străine, selecționîndu-se variantele optime din punctul de vedere al rezistenței mecanice, al fiabilității, al prețului și al erorilor.

2.2. *Sonda termică filiformă pentru măsurarea rezistivității termice pe teren*

Sonda termică este prezentată în figura 1. Ea se compune din :

a) Teaca metalică exterioară. Se compune dintr-o țeavă metalică din oțel, închisă la o extremitate cu un vîrf etanș, care îi facilitează pătrunderea în sol, iar la cealaltă prevăzută cu un guler necesar introducerii și scoaterii din sol.

În urma probelor s-a stabilit că dimensiunile tecii metalice, pentru măsurători cu erori minime la adîncime în sol variind între 50 și 80 cm, sînt : lungimea minimă 1200 mm, diametrul exterior maxim 10 mm, grosimea maximă a peretelui tecii 1 mm.

Capătul liber al tecii se închide cu un dop din textolit, prevăzut cu caneluri exterioare, pentru scoaterea firelor încălzitorului și termocuplei.

b) Sursa termică filiformă (încălzitorul) este confecționată de regulă dintr-un fir de constantan, deoarece rezistivitatea sa electrică variază foarte puțin și deci în timpul probei puterea sursei rămîne practic constantă.

S-au studiat diferite variante constructive pentru firul de constantan (lungimi, diametre etc.), alegîndu-se ca optimă soluția cu fir încălzitor dublu, la o putere maximă de 50—60 W ($\theta_{max} < 90°C$) și cu izolare cu tuburi din textură de fibre de sticlă (s-au mai utilizat ca variante de izolare mărgele de porțelan, teflon, lacuri rezistente la căldură, tuburile din textură de fibră de sticlă reprezentînd varianta optimă).

c) Elementele termosensibile utilizate au fost termocuplele Cu-Constantan cu Ø 0,25 mm, introduse, pentru izolare electrică, în tuburi din fibră de sticlă (constantă 0,0425 mV/°C).

Pentru urmărirea fidelă a cîmpului termic produs de firul încălzitor, în regim permanent şi tranzitoriu, s-a stabilit că adîncimea optimă de pozare a termocuplei este între 40 şi 80 cm.

Termocuplele trebuie etalonate pentru o diferenţă de temperatură între suduri de 100°C, din 10 în 10°C.

Sudura rece a termocuplei, izolată în tub de fibră de sticlă, va fi amplasată într-o teacă metalică identică cu cea a sondei termice şi, introdusă în sol, va constitui „sonda-martor".

d) Regleta a fost construită în cîteva variante, urmărindu-se o formă geometrică cît mai funcţională, care să nu stînjenească operaţia de introducere şi scoatere din sol, rezistenţă cît mai mare la dimensiuni cît mai reduse, precum şi posibilitatea protejării bornelor cu un capac etanş, pentru situaţia în care sonda urmează să rămînă plantată în sol mai multe zile.

S-a stabilit ca variantă optimă regleta constituită dintr-o placă izolantă (pertinax, textolit etc.) cu dimensiuni 120 × 30 × 3 mm, pentru 6 borne (în cazul montării a două termocuple).

2.3. *Utilizarea sondei de teren, plantarea în sol, executarea montajului şi efectuarea măsurărilor*

Pentru măsurări într-un anumit punct din teren, atît sonda termică filiformă, cît şi sonda-martor trebuie introduse în sol.

Operaţia introducerii sondei termice în sol, aparent lipsită de importanţă, cere un mare consum de timp şi mult efort, funcţie de situaţia din teren şi independent de voinţa operatorului. De introducerea corectă în sol a sondei termice depinde într-o foarte mare măsură corectitudinea măsurătorii propriu-zise.

Pentru introducerea în sol a sondelor, fără a le deteriora, în prealabil se practică, cu aju-

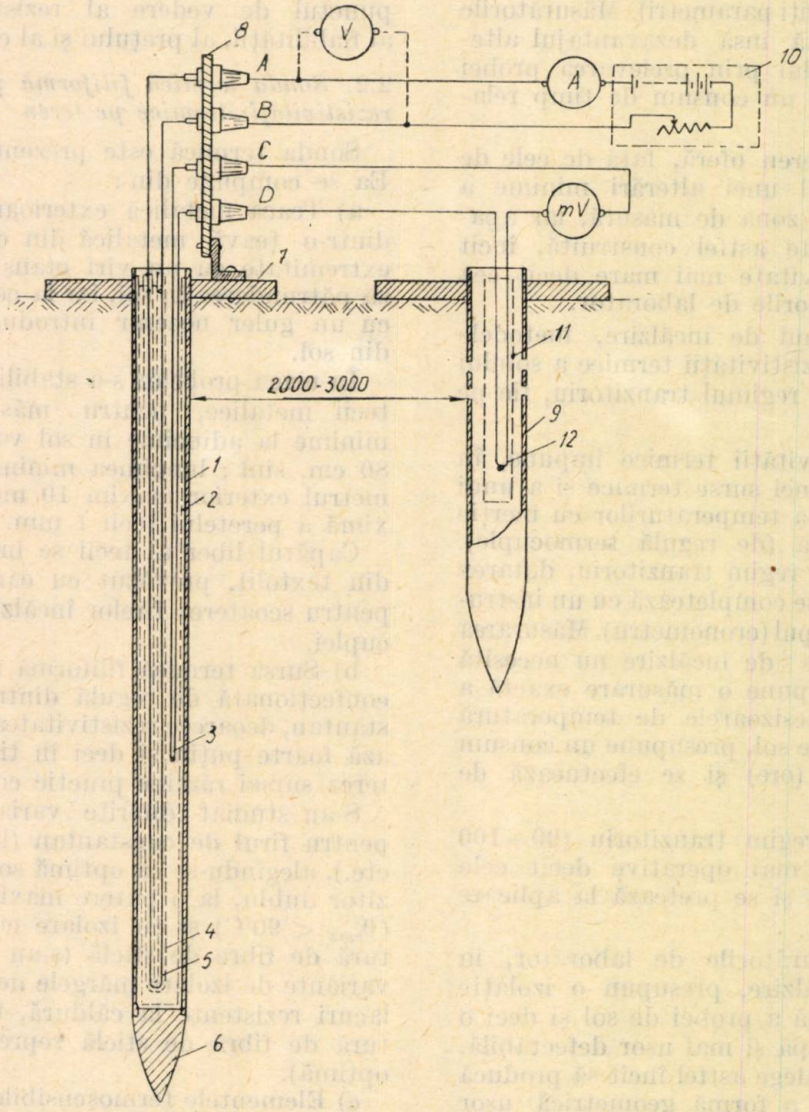


Fig. 1. Sonda termică filiformă pentru determinarea rezistivităţii termice a solului pe teren.

1 — teacă metalică exterioară; *2* — tub din fibră de sticlă exterior; *3* — sudura caldă a termocuplei; *4* — tub din fibră de sticlă interior; *5* — fir încălzitor; *6* — vîrf pentru pătrunderea în sol; *7* — guler; *8* — regletă; *9* — sondă-martor; *10* — sursă de tensiune variabilă c.c. 0–12 V, 50–100 W; *11* — izolaţie din fibră de sticlă; *12* — sudura rece a termocuplei; *A,B* — bornele de alimentare a firului încălzitor; *C,D* — borne termocuplă; *V* — voltmetru c.c. 0–12 V; *A* — ampermetru c.c. 0–10 A; *mV* — milivoltmetru înregistrator c.c. 0–5 mV (viteza benzii 120–240 mm/h).

torul unui burghiu (pentru lemn), sudat în vîrful unei tije, o gaură în sol cu diametrul puţin mai mic decît al sondei şi adîncimea de circa 60 cm.

Sonda termică de măsură şi sonda-martor vor fi introduse în sol la o distanţă de 2—3 m între ele.

Introducerea sondelor în sol se va face total, pînă la gulerul sudat la marginea superioară a tecii metalice. Nerespectarea acestei condiţii generează erori de măsură apreciabile.

După introducerea sondei termice de măsură şi a sondei-martor în sol, se execută montajul din figura 1.

Măsurarea rezistivităţii termice a solului cu sonda termică filiformă se execută în regim de încălzire tranzitoriu. Pentru aceasta, firul încălzitor va fi alimentat cu un curent fix (între 5 şi 9 A).

Simultan anclanşării alimentării se conectează milivoltmetrul înregistrator, sau se porneşte cronometrul.

Se citesc tensiunile termocuplei, pentru primele 10 minute de încălzire, din minut în minut, iar apoi din 10 în 10 minute, pînă la parcurgerea a 100 de minute, timp în care regimul de încălzire devine permanent.

Rezistivitatea termică se calculează cu formula (3).

Alegînd timpii de măsură $t_2 = 10\ t_1$ cu elemente constructive ale sondei şi termocuplelor şi cu un curent de încălzire optim de 7 A, rezultă $\rho_t = K_{AP} \cdot \Delta E$.

Constanta aparatului: K_{AP}=314°C·cm/W·mV, iar ΔE [mV] este diferenţa de tensiune corespunzătoare diferenţei de temperatură $\Delta\theta$ între t_1 şi t_2.

2.4. *Aparatura de laborator pentru măsurarea rezistivităţii termice*

2.4.1. Elemente constructive

În ICEMENERG s-a realizat un aparat de laborator cu sursă termică filiformă, care permite măsurători atît în regimul tranzitoriu cît şi în cel permanent (fig. 2).

Firul din constantan, care constituie sursa termică a aparatului, are diametrul 0,56 mm, o lungime de 140 mm şi este izolat electric prin două tuburi coaxiale din fibră de sticlă, între care se dispune sudura caldă a termocuplei (la jumătatea lungimii firului încălzitor).

Cealaltă sudură a termocuplei este dispusă într-un alt vas cu acelaşi material de probă.

Pentru măsurători în regim de încălzire permanent, pe peretele interior al cilindrului de pertinax, se dispune sudura rece a termocuplei.

Utilizarea aparatului de laborator permite în special studiul variaţiei rezistivităţii solului cu o serie de parametri, cum ar fi : umiditatea, compactitatea, granulaţia, temperatura, conţinutul chimic etc., şi deci stabilirea curbei de variaţie, funcţie de parametrii menţionaţi, a unei probe luate din teren, unde s-a executat în prealabil o măsurătoare cu sonda termică.

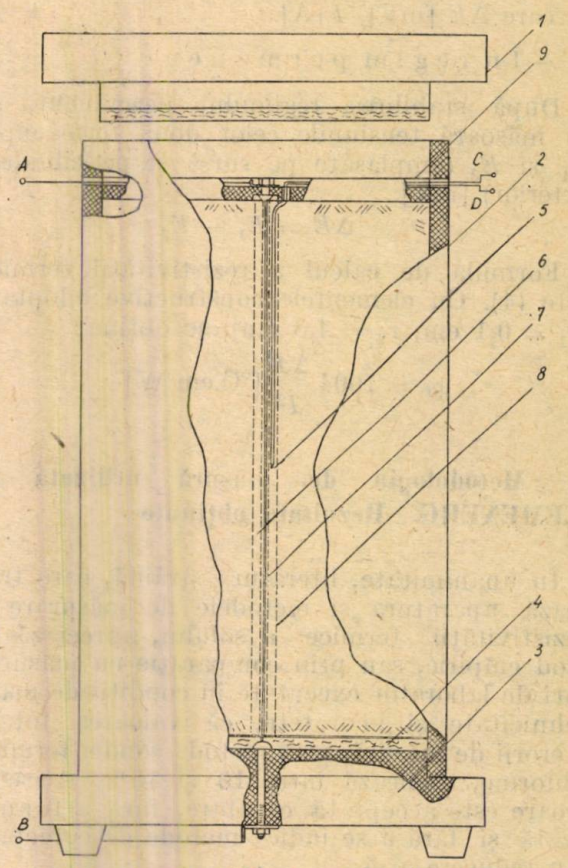


Fig. 2. Aparat pentru determinarea rezistivităţii termice a solului în laborator.

1 — capac superior (detaşabil); *2* — cilindru din textolit; *3* — capac inferior; *4* — strat izolant termic (azbest); *5* — sudura caldă a termocuplei; *6* — fir încălzitor (constantan); *7,8* — tuburi din fibră de sticlă concentrice; *9* — piesă diametrală (traversă) pentru fixarea şi ghidarea alimentării firului încălzitor şi a termocuplei; *A,B* — borne fir încălzitor; *C,D* — borne termocuplă.

Determinînd valorile parametrilor citaţi pentru proba de sol, la momentul măsurării, se poate determina cu ajutorul curbelor trasate în laborator evoluţia rezistivităţii termice a solului din zona respectivă, de-a lungul întregului an.

2.4.2. Măsurarea şi calculul rezistivităţii termice a solului în laborator.

— În regim tranzitoriu

Se alimentează firul încălzitor, cu curentul I, de la o tensiune de 0,5—1,5 V şi simultan se conectează milivoltmetrul înregistrator.

Calculul rezistivităţii termice a solului se execută cu formula (3).

Pentru caracteristicile aparatului construit în ICEMENERG (lungimea sursei termice,

$l = 14$ cm, rezistența firului, $R = 0{,}55$ Ω, constanta termocuplei, $k_1 = 23{,}53$ °C/mV):

$$\rho_t = 3264 \frac{\Delta E}{I^2} \text{ [°C.cm/W]},$$

în care ΔE [mV], I [A].

— În regim permanent

După stabilirea regimului permanent, se se măsoară tensiunile celor două termocuple E_1 și E_2 (amplasate pe sursă și pe cilindrul exterior) [mV].

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Formula de calcul a rezistivității termice este (4). Cu elementele constructive adoptate ($r_1 = 0{,}1$ cm, $r_2 = 4{,}3$ cm), se obține:

$$\rho_t = 1004 \frac{\Delta E}{I^2} \text{ [°C.cm/W]}$$

3. Metodologia de măsură utilizată în ICEMENERG. Rezultate obținute

În unanimitate, literatura străină, care tratează aparatura și metodele de măsurare a rezistivității termice a solului, apreciază în mod empiric, sau prin comparație cu măsurători de laborator executate în condiții de mare tehnicitate și acurateță, că valoarea totală a erorii de măsură, prin metoda sondei termice filiforme, oscilează între 10 și 15%. Această eroare este acceptată ca atare, fără a fi analizată și fără a se indica metode de corectare sau reducere a ei.

Măsurătorile executate cu aparatura elaborată în ICEMENERG au dat rezultate comparabile cu cele citate de literatura străină, încadrate în domeniul acestora de împrăștiere pentru același material.

În ideea măririi preciziei, s-au urmărit erorile și comportarea acestora față de fenomenul de încălzire-răcire.

Se observă că erorile datorate clasei aparatelor de măsură, disipărilor de căldură în afara materialului de măsurat și neuniformității cîmpului termic se manifestă identic și la încălzire, și la răcire. Aceste erori au fost reduse la minimum.

În aceeași categorie de erori intră cele datorate contactelor imperfecte, sau de rezistență variabilă în mod aleatoriu (strîngerea bornelor, curățenia contactelor etc.), precum și cele date de transpirația (condensarea apei) în interiorul sondei, care se manifestau în mod pregnant, în circuitul termocuplei.

În cadrul aparaturii executate în ICEMENERG s-au eliminat la minimum legăturile inutile, termocupla fiind executată prin sudarea la extremitățile aceluiași fir de constantan a două fire de diametru identic din cupru. De asemenea s-au adoptat metode care permit eliminarea zonelor de transpirație. Capetelor termocuplei li s-au sudat doi papuci, care sînt curățați înaintea fiecărei întrebuințări a termocuplei.

Tabelul 1

Măsurători de teren ale rezistivității termice și electrice

Nr. crt.	Luna	Rezistivitatea termică: Adîncime de măs. [mm]	ρ_t [°C.cm/W]	$\rho\, t_{med.}$ [°C.cm/W]	Rezistivitatea electr.: H [m]	ρ_d [Ωm]	$\rho_{e\ med.}$ [Ωm]	Obs.
1	mai	550	99		0,8	25,6		
2	„	800	70		1	19,8		
3	„	800	57		1	21,4		
4	„	500	96		1	20,6		
5	„	800	78,5		0,8	24,2	23	
6	„	800	65	76,3	1	23,2		
7	„	700	79		1	22,1		
8	„	600	83,5		1	28,1		
9	„	800	64		1	20,8		
10	„	800	71		0,8	23,6		
11	iunie	800	90		1	25,2		
12	„	700	93		1	30,3		
13	„	800	83,7	87,5	1	24,1		
14	„	800	80		1	20,2	24,8	
15	„	800	92		1	24,5		
16	august	800	117		1	45,5		
17	„	800	106		2	28,3		
18	„	800	152		1	40,3	38,6	
19	„	800	135	124	1	40,4		
20	„	800	110		1	38,5		
21	septembrie	800	109		1	39		
22		800	124		1	42		
23	„	800	131	120	1	41,8	42	
24	„	800	115		1	45,8		
25	„	800	122		1	40,4		

Se apreciază că în condițiile cele mai nefavorabile, suma erorilor aleatorii considerate cu același semn nu depășește 5%.

Comparînd curbele înregistrate la încălzire și răcire (fig. 3), se observă că totdeauna curba de răcire se situează în exteriorul curbei de încălzire. Acest fenomen se datorește atît acumulării de căldură în pereții metalici ai sondei și restituirii acestei călduri la răcire, cît și inerției termice a sondei și termocuplei. Cu cît pereții sondei sînt mai subțiri, cu atît curbele sînt mai apropiate, tinzînd spre confundare, în situația ideală.

Acest gen de erori sînt totdeauna de un semn pentru încălzire și de un semn contrar pentru răcire.

Constructiv, în realizarea sondei termice filiforme s-a ținut seama de aceasta, reducîndu-se diametrul tecii metalice și grosimea peretelui acesteia la limitele impuse de rezistența mecanică minimă necesară sondei. Această soluție, adoptată și de constructorii străini, a fost însă perfecționată și completată în ICEMENERG

Tabelul 2

Măsurători de laborator ale rezistivităţii termice

Nr. crt.	Materiale	Densit. sol uscat [g/cm³]	Umiditate [%]	ρ_t măs. $\left[\frac{°C.cm}{W}\right]$	ρ_t med. $\left[\frac{°C.cm}{W}\right]$	Observaţii
1	Amestec nisip fin sub Ø 0,7 mm cu argilă	1,5	0	241 259 288 272 264	265	
			2	207,1 198 195,3	200	După umezire s-a executat compactarea
			4	100,2 115,8 114,6	110,2	
			6	100 99 113,5	104,1	
			8 10	75 74	75 74	
			12	61,3	61	
2	Nisip cu Ø 0,7–1mm	1,33	0	345 350 400 350	361	
			2	234 230 228	231	După umezire s-a executat compactarea
			4	145 140	142,5	
			6	109	109	
			8	100	100	
			10	86	86	
3	Nisip cu Ø 1–2 mm	1,28	0	410 342 366 370	372	
			2	254 261 256 260	257	
			4	236	236	
			6	160	165,5	
			8	150 149 150	150	
			10	147	147	
4	Nisip cu Ø 2–3 mm	1,24	0	400 388 377 389	388	
			2	370 360 367	366	
			4	256	256	
			6	194	194	
			10	175	175	

Pentru reducerea în continuare a erorilor introduse de dimensiunile geometrice ale sondei termice, s-a ridicat atît curba de încălzire cît și cea de răcire, calculînd pentru ambele fenomene valoarea medie a diferenței tensiunilor termo-

2. Aparatura concepută și executată în ICEMENERG corespunde din punct de vedere tehnic scopului propus, fiind totodată ușor de executat în atelierele întreprinderilor interesate în măsurarea rezistivității termice a solului.

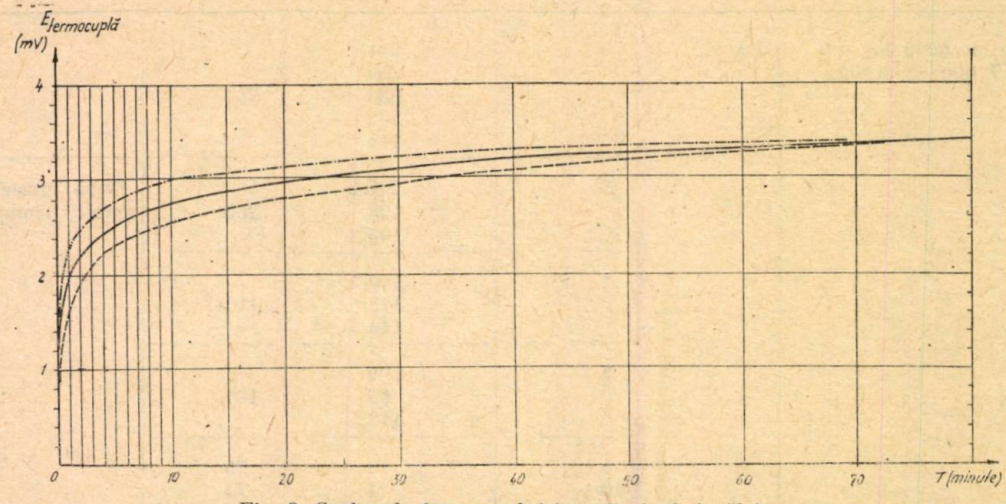


Fig. 3. Curbe ale fenomenului tranzitoriu de încălzire.
— — — curbă de încălzire reală ——— curbă de încălzire ideală (identică cu răcirea ideală) —.—. curbă de răcire reală

cuplei pentru timpii t_1 și t_2. Aceste mărimi pot diferi între ele, funcție de construcția sondei, cu 10 pînă la 20%.

Dat fiind faptul că acest gen de eroare este sistematică, acționînd de sens contrar în cele două situații (încălzire-răcire), este suficient ca în calculul rezistivității termice să fie utilizată valoarea medie :

$$\Delta E_{med} = \frac{\Delta E_{inc} + \Delta E_{răc}}{2}$$

Valoarea exactă ar fi deci obținută prin ridicarea consecutivă a curbelor de încălzire și răcire. Aceasta ar însemna însă o mărire considerabilă a duratei măsurătorilor. S-a putut însă calcula, în urma unor măsurători repetate de etalonare în teren și laborator, pentru sonda termică filiformă realizată de ICEMENERG, coeficientul de corecție k_3, astfel încît :

$$\Delta E_{med} = k_3 \cdot \Delta E_{inc}$$

Utilizînd această metodă, se reduce eroarea pînă la maximum 5%, nefiind nevoie a se mai înregistra și curba de răcire, deci fără a mai majora timpul necesar măsurărilor de teren.

O parte din rezultatele obținute la măsurările executate în teren și laborator sînt prezentate în tabelele 1 și 2.

Concluzii

1. Cercetările privind rezistivitatea termică a solului, efectuate în ICEMENERG, confirmă necesitatea ca atît la proiectarea cît și în exploatarea instalațiilor de legare la pămînt din stațiile de medie tensiune și a liniilor electrice subterane să se utilizeze valori reale, măsurate, ale rezistivității termice a solului, în locul valorilor indicate în prescripții.

3. Cele două metode de măsură utilizate (de teren și de laborator) dau rezultate echivalente și comparabile cu datele din literatura mondială. Aceasta reprezintă o confirmare a rezultatelor obținute.

4. Noua metodologie de măsură și de calcul al erorilor, bazată pe urmărirea fenomenului de încălzire și a celui de răcire, concepută și aplicată în ICEMENERG, dă rezultate cu erori reduse la maximum 5% față de cele acceptate în literatura străină, de 10 — 15%. Aceasta reprezintă o contribuție importantă în acest domeniu a ICEMENERG.

5. În urma măsurătorilor de teren rezultă o variație sezonieră (determinată de variațiile de umiditate din sol) atît a rezistivității electrice, cît și a celei termice, fapt care presupune repetarea măsurătorilor de rezistivitate termică în perioadele de secetă pentru aflarea rezistivității termice maxime posibile.

6. În cazul instalațiilor de legare la pămînt, din stațiile de medie tensiune, valoarea $\rho_e \cdot \lambda_t$ are o variație neglijabilă cu umiditatea, și deci este suficientă o singură măsurătoare simultană a celor două mărimi, deoarece în calculele de dimensionare a prizelor intervin ambele mărimi.

Bibliografie

[1] Trogu, G. *La misura diretta delle caratteristiche termiche del tereno.* În : L'Energia Elettrica nr. 8, 1960, p. 710—725.

[2] Morello, A. *Importanza delle caratteristiche termiche del tereno per le transmissioni sotteranee di energia elettrica.* În : L'Energia Elettrica nr. 8, 1960, p. 700—709.

[3] Wincler, Fr. *Influența materialelor de căptușire asupra încărcării cablului.* În : ETZ-A, martie 1971, p. 131—137.

[4] Larina, F.T. *Metode de determinare a rezistivității termice a solului.* În: Electriceskie stanții, nr. 9, p. 73—75.

[5] Holodnii, C. D. *Încălzirea și răcirea cablului pozat în pămînt.* În : Elektricestvo, nr. 6, 1974, p. 35—40.

(Articol intrat în redacție la 21 martie 1977)

CRONICA

A III-a Sesiune de comunicări tehnico-științifice organizată de IRE Suceava

În zilele de 4 și 5 mai 1978, în cadrul IRE Suceava s-au desfășurat lucrările celei de-a III-a sesiuni de comunicări tehnico-științifice.

Introdusă de mai mulți ani în practica IRE Suceava și pusă sub genericul celei de-a II-a ediții a festivalului național „Cîntarea Romîniei", manifestarea din acest an a sintetizat unele rezultate ale preocupărilor pe linie de introducere a progresului tehnic ale personalului tehnico-inginerese din întreprindere în direcția ridicării continue a nivelului proiectării, execuției și exploatării instalațiilor electroenergetice din județele Suceava și Botoșani.

Ponderea comunicărilor acestei sesiuni, cu participare națională, a fost însă asigurată de aportul prestigios al unor cadre didactice și de cercetare de la Institutul politehnic Iași, Institutul politehnic București, Institutul de proiectări și cercetări „Electroputere-Craiova", ICEMENERG-București, ISPE-București ca și în cadrul altor întreprinderi de rețele electrice din țară.

Lucrările sesiunii au fost deschise de ing. Ovidiu Mustață, directorul IRE Suceava. La ședința festivă de deschidere au luat cuvîntul Ileana Paranici, secretar al Comitetului Municipal P.C.R. Suceava, și Gheorghe Alexandrescu, din partea Comitetului Uniunii pe ramură a sindicatelor mine și energie. Vorbitorii au subliniat în cuvîntul lor importanța manifestării ca mijloc practic și de lucru privind materializarea politicii partidului și statului nostru cu privire la creșterea calității activității energeticienilor, cu privire la stimularea participării maselor din sectorul energetic la activitatea de creație științifică și tehnică în cadrul festivalului național „Cîntarea României".

Apreciind efortul organizatorilor, vorbitorii și-au exprimat părerea că această manifestare, deja tradiționalizată în cadrul IRE Suceava, cu un pronunțat caracter de lucru, are menirea nu numai de a face bilanțul unor preocupări comune pe linie de cercetare, producție și învățămînt, dar, în mod deosebit, de a jalona activitatea de viitor, în sensul afirmării practice, depline, a cincinalului revoluției tehnico-științifice în care ne aflăm.

Caracterizate printr-o ținută științifică remarcabilă, sub aspectul ineditului și al originalității, cele 53 de referate prezentate în cadrul acestei sesiuni au abordat o tematică diversă care acoperă aproape în întregime aria problemelor cu care este confruntată în activitatea sa atît IRE Suceava (și toate întreprinderile de rețele electrice din țară) cît și consumatorii de energie electrică racordați la sistemul electroenergetic zonal (și național).

Aplicabilitatea practică a tematicii abordate, ca și interdisciplinaritatea multora dintre comunicările făcute în cadrul acestei sesiuni, a condus la o largă audiență în rîndurile cadrelor tehnico-inginerești de specialitate energetică din județele Suceava și Botoșani, precum și din alte județe ale țării.

Pe tematici, comunicările se grupează după cum urmează :

— economisirea și utilizarea rațională a energiei electrice ;

— siguranța în continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor ;

— regimul deformant de funcționare a rețelelor electrice și implicațiile sale ;

— automatica de sistem și protecția prin relee a rețelelor electrice ;

— dezvoltarea și sistematizarea rețelelor electrice ;

— comportarea în exploatare a materialelor și echipamentelor electroenergetice din instalații ;

— probleme noi în transportul și distribuția energiei electrice prin LEA ;

— probleme ale corelației dintre om și mediul electromagnetic ;

— activitatea de autodotare ;

— instruirea personalului operativ din instalații ;

— promovarea tehnicii noi de calcul în activitatea de proiectare, execuție, întreținere și exploatare a instalațiilor electroenergetice ;

— tehnologii, materiale și echipamente electroenergetice noi ;

— probleme de organizare și ergonomie.

Prezentarea comunicărilor și discuția acestora au avut loc în cadrul unui climat propice schimbului creator de opinii, din discuții rezultînd importante concluzii cu aplicabilitate directă în activitatea practică de producție.

În cadrul ședinței de închidere a lucrărilor sesiunii a luat cuvîntul ing. Emil Barbu — director general al Centralei industriale de rețele electrice, care a făcut aprecieri pozitive legate de tematica și conținutul comunicărilor sesiunii, subliniind cu satisfacție că domeniile de mare importanță în care trebuie adîncite sudiile și cercetările energetice și-au găsit locul cuvenit în programul sesiunii.

În încheiere, ing. Ovidiu Mustață, directorul IRE Suceava, a mulțumit tuturor celor care și-au adus contribuția la reușita acestei manifestări, invitînd totodată pe participanți și la viitoarele sesiuni de comunicări tehnico-științifice ce urmează a fi organizate de către IRE Suceava în viitorii ani.

Reușita acestei sesiuni a confirmat pe deplin necesitatea și eficiența unor astfel de manifestări chiar în întreprinderi de exploatare, unde ponderea preocupărilor o constituie totuși activitatea productivă, și nu cercetarea.

Ing. **Romulus Sfichi,**
președintele comisiei inginerilor
și tehnicienilor din IRE Suceava

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.016.4.63

Поп, М.Г.М., Урсу, Ек. и *Манеа, Д.*: **Рабочее заседание Коллектива по прогнозированию, в рамках Академии наук СРР, по теме: «Энергия в последующие три десятилетия**

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 186–188

ДК 621.3.016.4

Урсу Иоан: **Энергетика и научно-технический прогресс в следующие при десятилетия**

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 189–195

ДК 66.012.3

Кокырлэ Трандафир: **Потребление энергии и экономия энергии**

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 196–199

ДК 621.165: 621.177.8

Кырду, М.: **Относительно программирования теплового расчета паровых турбин**

Описываются этапы теплового расчета для паровых турбин и показываются возможности затруднения переноса теплового расчета на вычислительную машину. Также представляются различные типы программы, дающие примеры путем логической схемы расчетной программы.

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 200–204

DL 621 36.002

Комша, Д., Майер, В. и *Киндриш, М.*: **Алгорифмы для теплового расчета теплоэнергетических оборудований**

Работа затрагивает основные этапы тепловых расчетов, имеющих своей целью определение размеров толщины теплоизолирующих слоев, определение температурного режима по толщине стенок, тепловых потерь через проводимость и тепловой КПД. Представляются алгорифмы расчета для определения температурных режимов на теплоизолирующих стенках и для определения их расчетов таким образом, чтобы тепловой режим температур был бы включен в один предельный режим.

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 204–208

ДК 621.313.32

Потолеа, Е.: **Модели и параметры синхронной машины. I-я часть-Модели для идентификации параметров**

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 209–218

ДК 621.43

Ионеску, Д. С., Бэлан, Г. и *Гойя, Л.М.*: **Измерение теплового удельного сопротивления почвы**

Представляется теоретическая основа методов измерения, реализованных практическим путем, касающихся температуры и результатов, полученных в лабораторных условиях.

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 218–224

ХРОНИКА

ДК 621.016.4.63

3-я сессия научно-технических сообщений, организованная ПЭС Сучеава

Energetica 26 (1978), No. 5–6, стр. 225

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.016.4.63

Pop, M. G. M., Ursu Ec. und *Manea, D.*: **Arbeitstagung des Prognosekollektivs der Akademie der Wissenschaften der SR Rumänien zum Thema „Die Energie in den nächsten drei Jahrzehnten"**

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 186–188

DK 621.3.016.4

Ursu Ioan: **Die Energiewirtschaft und der technisch-wissenschaftliche Fortschritt in den nächsten drei Jahrzehnten**

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 189–195

DK 66.012.3

Cocârlă Trandafir: **Energieverbrauch und Energieeinsparung**

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 196–199

DK 621.165: 621.177.8

Cârdu, M.: **Zur Programmierung der thermischen Berechnung der Dampfturbinen**

Es werden die Etappen der thermischen Berechnung der Dampfturbinen beschreiben sowie die Möglichkeiten und die Schwierigkeiten bei der rechnergestützten Durchführung der thermischen Berechnung gezeigt. Ferner werden verschiedenen Programmtypen vorgeführt und ein Beispiel für das Flussdiagramm eines Berechnungsprogramms angegeben.

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 200–204

DK 621.36.002

Comşa, D., Maier, V. und *Chindriş, M.*: **Algorithmen zur Durchführung der thermischen Berechnung wärmetechnischer Ausrüstungen**

Im Beitrag werden die Grundetappen der thermischen Berechnung zum Zweck einer Dimensionierung der wärmeisolierenden Schichtdicken, der Bestimmung des Temperaturverteilung in der Wanddicke, der Bestimmung der Wärleitverluste und des thermischen Wirkungsgrades behandelt. Ferner werden Algorithmen zur Berechnung des Temperaturregimes der wärmeisolierenden Wandungen und ihre Dimensionierung angegeben, mit deren Hilfe die Temperaturschwankungen in einem vorgegebenen Grenzbereich eingehalten werden sollen.

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 204–208

DK 621.313.32

Potolea, E.: **Modelle und parameter der Synchronmaschine. Teil I: Modelle zur Bestimmung der Parameter**

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 209–218

DK 621.43

Ionescu, D. C., Bălan, Gh. und *Goia, L. M.*: **Messung des Boden-Wärmeleitwiderstandes**

Es wird die theoretische Grundlage der Messverfahren sowie die praktische Geräteentwicklung und die im Labor und in situ gewonnenen Ergebnisse vorgeführt.

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 218–224

CHRONIK

DK 621.016.4.63

Sfichi, R.: **Die vom Unternehmen für elektrische Netze Suceava veranstaltete „III. Wissenschaftlich-Technische Konferenz"**

Energetica 26 (1978), H. 5–6, S. 225

SOMMAIRE

CD 621.3.016.4.63

Pop, M. G. M., Ursu, Ec. et *Manea D.* : **La séance de travail du Groupe de la prognose auprès de l'Académie de la République Socialiste de Roumanie sur : ,,L'Energie dans les trois décennies à venir''**

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 186–188

CD 621.3.016.4

Ursu Ioan : **L'énergétique et le progrès scientifique et technique dans les trois décennies suivantes**

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 189–195

CD 66.012.3

Cocârlă Trandafir : **La consommation d'énergie et l'économie d'énergie**

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 196–199

CD 621.165 : 621.177.8

Cârdu, M. : **Sur la programmation du calcul thermique des turbines à vapeur**

On décrit les phases du calcul thermique pour les turbines à vapeur et on expose les possibilités et les difficultés de la transposition du calcul thermique sur l'ordinateur. Sont présentés de même différents types de programme, en exemplifiant avec le schéma logique d'un programme de calcul.

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 200–204

CD 621.36.002

Comşa, D., Maier, V. et *Chindriş, M.* : **Algorithmes pour le calcul thermique des équipements thermoénergétiques**

L'article aborde les étapes fondamentales des calculs thermiques afin de calculer les dimensions de l'épaisseur des couches thermoisolantes, d'établir le régime de température sur l'épaisseur des parois, les pertes thermiques dues à la conduction et le rendement thermique. On présente des algorithmes de calcul pour établir les régimes de température pour les parois thermoisolantes et pour calculer leurs dimensions de sorte que le régime thermique des températures soit inclus dans un régime limite.

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 204–208

CD 621.313.32

Potolea, E. : **Les modèles et les paramètres de la machine synchrone. I-ère partie — Modèles d'identification des paramètres**

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 209–218

CD 621.43

Ionescu, D. C., Bălan, Gh. et *Goia, L. M.* : **Le mesurage de la résistivité thermique du sol**

Les auteurs présentent le fondement théorique des méthodes de mesurage, les réalisations pratiques concernant les appareils et les résultats obtenus en laboratoire et in situ.

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 218–224

CRONIQUE

CD 621.016.4.63

Sfichi, R. : **La IIIe Session de communications techniques-scientifiques organisée par l'Entreprise des Réseaux Electriques de Suceava**

Energetica 26 (1978), no. 5–6, p. 225

CONTENTS

DC 621.3.016.4.63

Pop, M. G. M., Ursu, Ec. and *Manea, D.* : **Meeting of the Forecast Working Group of the SRR Academy on the subject matter ,,Energy within the next three decades''**

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 186–188

DC 621.3.016.4

Ursu Ion : **Energetics and technical-scientific progress within next three decades**

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 189–195

DC 66.012.3

Cocârlă Trandafir : **Energy consumption and energy savings**

Energetica 26 (1978), nr. 5–6 , p. 196–199

DC 621.165 : 621.177.8

Cârdu, M. : **Regarding programming of steam turbine thermal computation**

Phases of thermal computation for steam turbines are described and the possibilities and difficulties of computer transposition of the thermal computations are indicated. Various types of programmes are also presented, further on exemplified by the logic scheme of a computation programme.

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 200–204

DC 621.36.002

Comşa, D., Maier, V. and *Chindriş, M.* : **Algorithms for the thermal computation of thermoenergetic equipments**

The paper deals with base steps of thermal computation aiming to the sizing of thermoinsulating layers thicknesses, to determination of temperature distribution within wall thicknesses, of conduction induced thermal losses and of thermal efficiency. Computation algorithms for determination of temperature distribution within thermoinsulating walls and for their sizing are presented, so that the thermal regime of temperatures be included within a limiting regime.

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 204–208

DC 621.313.32

Potolea, E. : **Models and parameters of synchronous machines. I part — Models for identification of parameters**

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 209–218

DC 621.43

Ionescu, D. C., Bălan, Gh. and *Goia, L. M.* : **Measuring of specific thermal resistance of the ground**

Theoretical bases of measuring methods are presented, as well as the practical achievements regarding apparata and results obtained both in laboratory and in field conditions.

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 218–224

CRONICLE

DC 621.016.4.63

Sfichi, R. : **IIIrd technical-scientific session of communications organized by IRE Suceava**

Energetica 26 (1978), nr. 5–6, p. 225

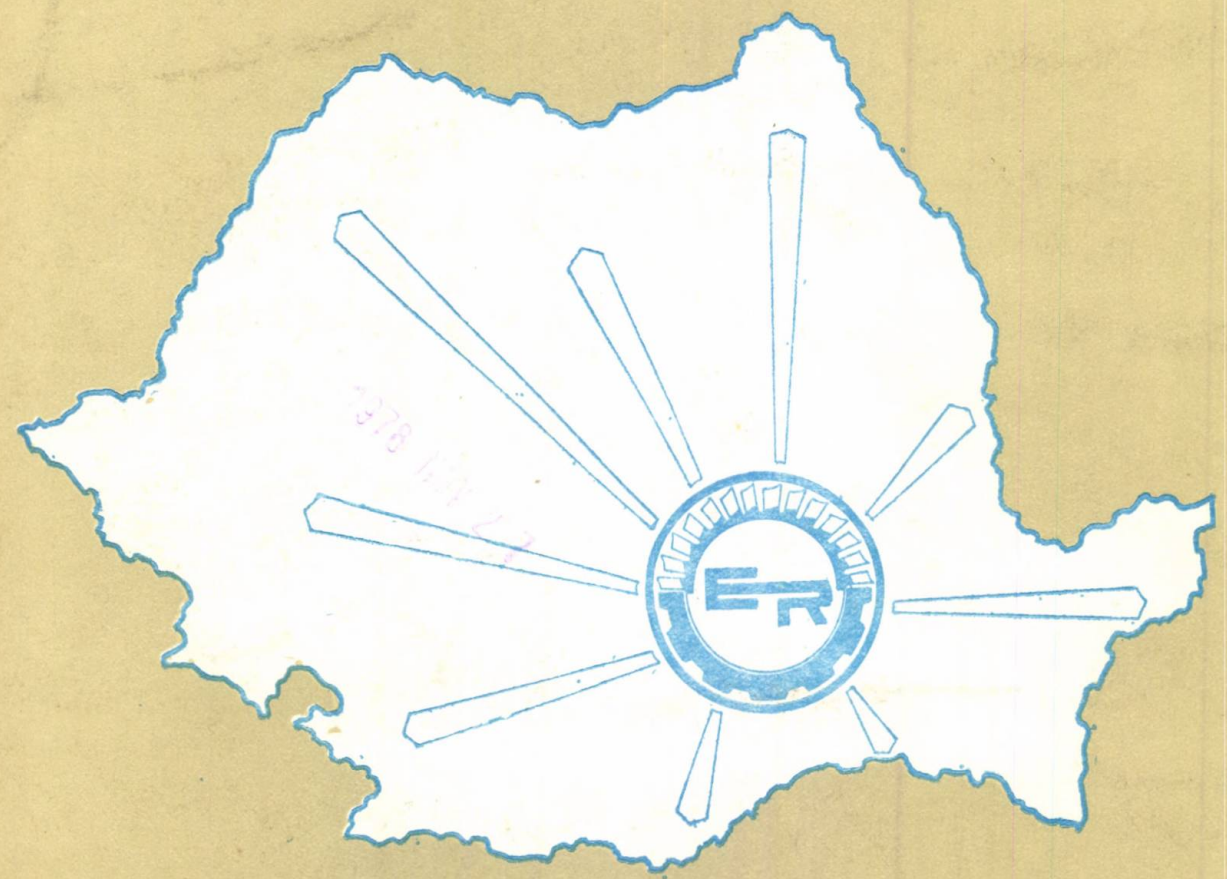
Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Str. Doamnei 14—16 Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I. P. I. c. 382

41 401

ENERGOREPARAŢII

Bucureşti, Bd. Mărăşeşti nr. 2, sector 5
Telefon : 23.26.40



Execută pentru sectorul energetic :

Dispozitive, mecanisme, utilaje şi agregate, destinate mecanizării muncii din activitatea de construcţii-montaj de producere şi distribuţie a energiei electrice, de reparare a agregatelor energetice etc.

Utilaje, părţi de utilaje sau subansambluri necesare lucrărilor de investiţii din sectorul energetic (pompe de combustibil, pompe de injectat ciment, acţionări pneumatice cu ventile, batardouri, grătare pentru stavile etc.).

Reparaţii la : turbine cu abur, turbine hidraulice, generatoare electrice, compresoare, motoare electrice, motoare diesel stabile.

Piese de schimb pentru : turbine cu abur şi hidraulice, cazane de abur, instalaţii pentru pregătirea şi transportul combustibilului, motoare cu ardere internă şi compresoare, instalaţii şi utilaje auxiliare din centrale (pompe, ventilatoare, vane etc.).

Asistenţă tehnică în probleme de : vibraţii la agregate şi palete, echilibrări grupuri, analize defectoscopice, metalografice etc.

Recepţia la furnizori a echipamentelor energetice (turbine pentru centrale termo- şi hidroelectrice, generatoare, cazane, pompe etc.).

E 2039

MW

7-8

REFERÁLVA

VOLUMUL XXVI
BUCUREȘTI
IULIE — AUGUST 1978

energetica

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 7–8 iulie–august

Cuprinsul

		Pag.
N. Armencoiu	**Soluții adoptate în proiectarea centralelor electrice în scopul reducerii consumurilor specifice de combustibil pentru energia electrică emisă**	229–238
Fl. Alexe și *S. Donos*	**Asupra oportunității utilizării, la CNE cu apă sau apă grea sub presiune, a generatorului de abur cu circulație forțată în zona de economizor**	238–245
C. Haiduc	**Transferul de căldură în porțiunile drepte ale țevilor generatoarelor de abur pentru CNE cu reactoare PHWR**	245–247
S. Darie și *Gh. Nagy Baka*	**Analiza vulnerabilității sistemelor electroenergetice utilizînd un concept de sinteză topologică**	247–250
E. Pololea	**Modelele și parametrii mașinii sincrone. Partea II — Modele pentru calculul regimurilor**	250–257
Al. Selischi și *B. Guzun*	**Funcționarea economică a autotransformatoarelor în schemele centralelor electrice**	258–267
P. Buhuș	**Premise teoretice ale Instrucțiunii privind alegerea în proiectare și înlocuirile ulterioare în exploatare ale transformatoarelor din posturi**	267–274
DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI		
C. Morțun	**Electrificarea județului Alba**	274–277
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea Consiliului științific al Institutului central de cercetări energetice

1978 UN 17

Soluţii adoptate în proiectarea centralelor electrice în scopul reducerii consumurilor specifice de combustibil pentru energia electrică emisă

Dr. ing. **N. Armencoiu***)

Problema economisirii energiei şi a reducerii consumurilor specifice este de o deosebită importanţă pentru ţara noastră. În raportul prezentat la Conferinţa Naţională a P.C.R. din decembrie 1977, tovarăşul Nicolae Ceauşescu a subliniat din nou importanţa folosirii raţionale a materiilor prime, a creşterii randamentului de utilizare a acestora, a gospodăririi raţionale a combustibililor şi energiei.

1. Dezvoltarea pînă în prezent a centralelor termoelectrice

Pentru acoperirea creşterii consumului de putere şi energie electrică în ţara noastră, a fost necesară asigurarea unei dezvoltări corespunzătoare a instalaţiilor de producere a energiei electrice, ceea ce a făcut ca puterea instalată a centralelor termoelectrice să crească de la 680 MW în 1950 la 10 620 MW în 1977.

În dezvoltarea instalaţiilor termoenergetice, o primă etapă a constituit-o intrarea în funcţiune în anii 1952—1954 a unor centrale cu grupuri cu puteri unitare de 20—25 MW şi parametri medii ai aburului (66 at, 480°C). În anii următori, 1954—1956, au intrat în funcţiune grupuri cu puteri unitare mai mari (50 MW) şi parametri mai ridicaţi (100 at, 510°C). În continuare s-a trecut la realizarea de centrale termoelectrice echipate cu grupuri de mare putere (100, 150, 200 MW) şi cu parametri înalţi ai aburului (140 at, 570°C). În 1967 s-a pus în funcţiune primul grup de 315 MW, avînd parametrii cei mai ridicaţi (196 at, 540°C).

Puterea instalată în centralele termoelectrice la finele anului 1977 poate fi caracterizată calitativ şi cantitativ prin următoarele elemente (fig. 1):

— ponderea puterii instalate în agregate cu puteri unitare de 100 MW şi mai mari	65%
— ponderea puterii instalate în centrale termoelectrice cu puterea centralei egală sau mai mare de 400 MW	68%
— ponderea puterii instalate în centrale cu parametri egali sau mai mari de 140 at, 540°C	78%
— cota instalată în centralele de termoficare	37%

*) Dr. ing. Nicolae Armencoiu este directorul Institutului de studii şi proiectări energetice (I.S.P.E.).

Creşterea ponderii grupurilor termoelectrice moderne, cu parametri înalţi ai aburului, puteri unitare mari şi randamente ridicate, precum şi utilizarea pe o scară din ce în ce mai largă a termoficării şi dezafectarea grupurilor vechi au condus la o scădere accentuată a consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice pe ansamblul centralelor termoelectrice. De la un consum specific brut de 721 g c.c./kWh în 1950, s-a ajuns la 317,5 g c.c./kWh în 1977. Consumul specific net realizat în anul 1977 a fost de 351,6 g c.c./kWh, ceea ce corespunde la un randament net de 35%.

2. Concepţia adoptată în proiectarea centralelor termoelectrice în vederea realizării unor consumuri specifice din ce în ce mai reduse

O importanţă de prim ordin s-a acordat optimizării soluţiilor în fazele de concepţie şi proiectare, dat fiind că prin aceasta se pot realiza cele mai substanţiale avantaje economice: o corectă exploatare, o ameliorare a fiabilităţii şi respectarea cerinţelor pentru mediul înconjurător.

În proiectarea centralelor termoelectrice s-a urmărit aplicarea, în condiţiile specifice ţării noastre, a tendinţelor generale de progres tehnologic, verificate de tehnica mondială. Dintre acestea menţionăm:

— mărirea puterii unitare a agregatelor;

— concentrarea puterii în centrale electrice de mare putere;

— creşterea parametrilor aburului viu;

— dezvoltarea centralelor de termoficare şi imprimarea tendinţei de comasare a consumatorilor de căldură în centre de consum alimentate din centrale mari de termoficare.

Cadrul actual al concepţiei de proiectare a centralelor termoelectrice din ţara noastră este marcat de folosirea cu prioritate a combustibililor solizi inferiori (lignit şi şisturi bituminoase) şi de utilizarea echipamentelor termoenergetice de fabricaţie românească. În ţara noastră au fost fabricate şi sînt în funcţiune, la centrale de condensaţie, cazane cu debitul unitar de 1035 t/h şi grupuri turbogeneratoare de 330 MW, cu parametrii aburului 186 at, 535/535°C, cu consumuri specifice de combustibil la nivelul de vîrf al tehnicii mondiale.

Pentru centrale de termoficare urbană s-a realizat cazanul de 525 t/h şi grupul de condensaţie şi priză de 150 MW la 186 at, 535/535°C, grup care are în condensaţie un consum specific de combustibil apropiat de al grupului cu condensaţie de 330 MW, fapt care măreşte economicitatea centralei de termoficare.

Centralele de termoficare cu consum preponderent tehnologic sînt echipate cu grupuri de

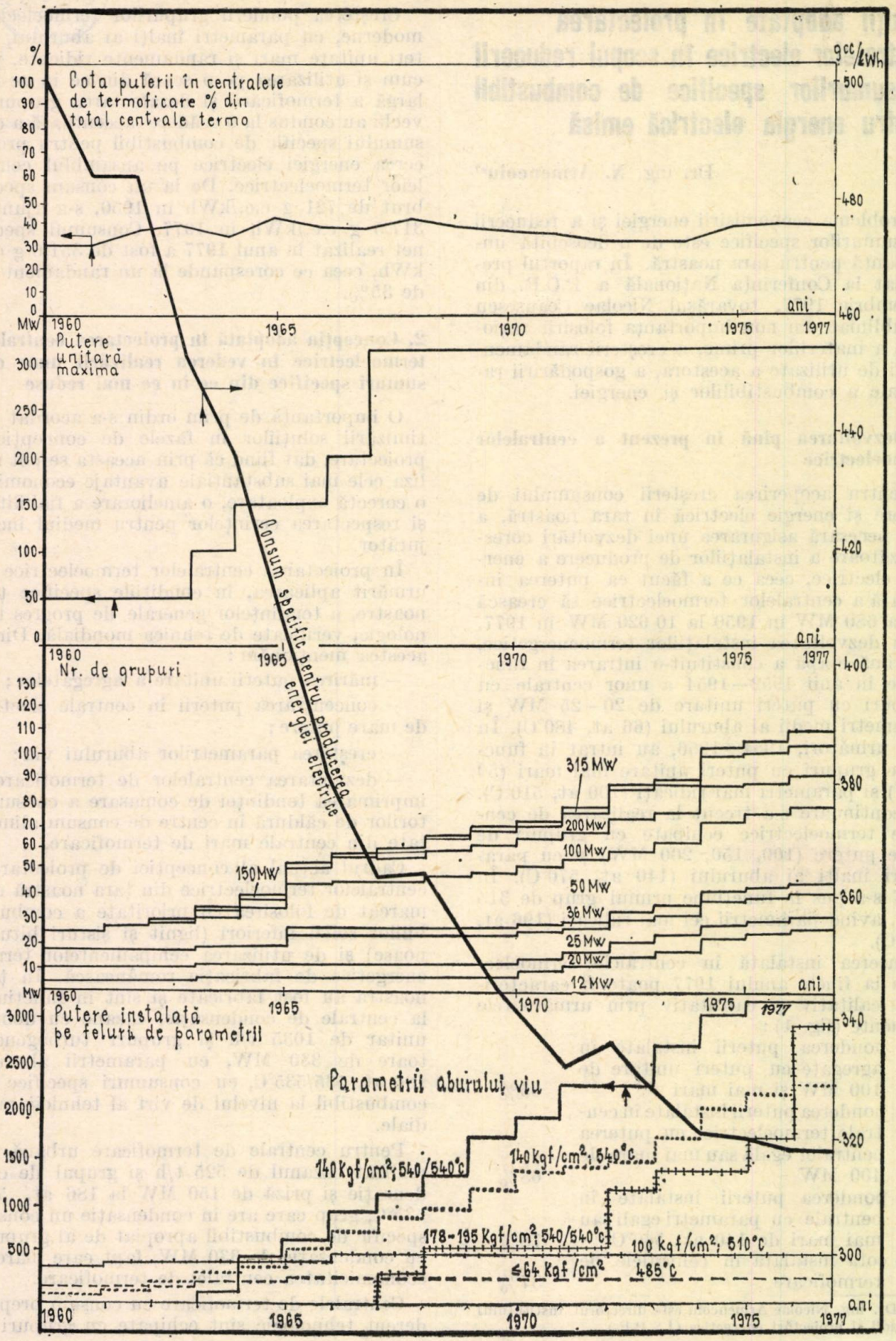


Fig. 1. Evoluția unor elemente caracteristice ale centralelor termoelectrice.

50 MW, concepute cu funcţionare redusă în regim de condensaţie sau cu grupuri de contrapresiune.

3. Optimizări ale grupurilor termoenergetice fabricate în ţară

Proiectarea centralelor electrice şi-a adus un aport principal în optimizarea caracteristicilor şi schemelor grupurilor termoenergetice ce se fabrică în ţară.

Principalele paliere stabilite sînt :

— pentru grupurile de condensaţie : 330 MW ;

— pentru termoficare urbană : grupul de 150 MW ;

— pentru termoficare industrială : grupul de 50 MW.

La grupurile cu condensaţie :

— parametrii aburului viu au fost stabiliţi la o presiune de 196 at şi o temperatură de 540°C, valori ce corespund unei exploatări în condiţii de siguranţă acceptabile pentru oţelurile aliate de care se dispune. Acest nivel de parametri reprezintă un nivel perfecţionat pe plan mondial ;

— supraîncălzirea intermediară la o temperatură de 540°C ; aceasta este generalizată la grupurile cu puteri unitare peste 100 MW, inclusiv la turbinele de termoficare urbană ;

— numărul prizelor nereglabile din compunerea circuitului de preîncălzire regenerativă a apei de alimentare este de 7, valoare la care gradul de complexitate al instalaţiilor şi ca urmare investiţiile şi siguranţa în exploatare se menţin la un nivel optim tehnic şi economic ;

— presiunea în condensator a fost stabilită la valoarea minimă permisă de condiţiile meteorologice specifice şi de posibilităţile de asigurare cu apă de răcire. De exemplu, la centralele Rovinari şi Turceni, presiunea nominală la condensator este de 0,038 ata ;

— instalaţiile din compunerea centralelor termoelectrice : cazan, turbină, generator electric, transformator electric, consumatori servicii interne, au randamente ridicate, asigurate de performanţele tehnice ale acestora.

Performanţele nominale ale agregatelor de 330 MW pe lignit sînt :

— consumul specific de căldură al turbinei 1895 kcal/kWh ;
— randamentul cazanului, la funcţionare pe lignit 87,5 % ;
— randamentul brut mediu anual al blocului 36—37 % ;
— randamentul net mediu anual al blocului 32—33,5 %.

Valorile de proiect menţionate reprezintă performanţe foarte bune şi urmează să fie realizate în perioada de exploatare matură a blocurilor de 330 MW.

Valorile menţionate se situează la nivele apropiate de posibilităţile maxime ale ciclului turbinelor cu abur clasice. Posibilităţile de îmbunătăţire a randamentului global de producere a energiei electrice sînt foarte reduse, valorile actuale atinse reprezentînd o limită superioară a ciclului apă-abur, putîndu-se vorbi despre o plafonare termodinamică şi tehnică.

Dacă faţă de performanţele menţionate ale acestor echipamente s-ar dori o majorare a randamentului cu 1—1,5 procente, aceasta ar necesita aplicarea uneia dintre următoarele măsuri :

— mărirea numărului de trepte regenerative, de la 7 la 10 ;

— mărirea parametrilor aburului viu : temperatura de la 540°C la 600°C şi presiunea de la 196 la 230 at ;

— introducerea supraîncălzirii intermediare duble.

Introducerea unor astfel de măsuri ar conduce însă la dublarea costului echipamentului şi reducerea fiabilităţii, ceea ce a făcut ca pe plan mondial parametrii să fie limitaţi la cei menţionaţi anterior. Aceasta nu înseamnă însă că au fost epuizate posibilităţile de ameliorare, dar într-o mică măsură, a randamentului real al acestor centrale. Proiectarea, în prezent, are preocupări, în colaborare cu cercetarea şi fabricanţii de echipamente, pentru :

— îmbunătăţirea condiţiilor de ardere a lignitilor, prin prevederea unor grătare de postardere ;

— îmbunătăţirea schemelor termice pentru reducerea pierderilor de căldură (o mai bună folosire a drenajelor, recuperări de la expandoare etc.) ;

— recuperarea căldurii din condensatul rezultat de la încălzirea păcurii, prin scheme care să evite infectarea condensatului, iar pe de altă parte recuperarea căldurii sau chiar a condensatului ;

— reconsiderarea unor echipamente auxiliare, din punctul de vedere al randamentului.

Perfecţionarea blocurilor cu condensaţie pe calea creşterii temperaturii sursei calde, adică prin cicluri mixte abur-gaze, sau cicluri binare, cu o creştere de randament de 6—10% este condiţionată direct de folosirea combustibililor superiori. O eventuală utilizare a unor astfel de cicluri este legată de succesul gazificării lignitului în ţara noastră. Referitor la centralele mixte abur-gaze, este de avut în vedere o propunere din anul 1977, de elaborare în cadrul ICCE a unui studiu privind oportunitatea modernizării centralelor existente care vor funcţiona şi în viitor pe hidrocarburi, prin realizarea unui ciclu înaintaş cu turbină cu gaze.

Pentru obţinerea unor sporuri importante de randament, o cale principală o constituie producerea combinată a energiei electrice şi căldurii în centralele de termoficare.

Termoficarea a reprezentat şi reprezintă pentru România una din direcţiile principale de îmbunătăţire a randamentului global.

Schema termică a centralelor de termoficare urbană este caracterizată în etapa actuală de considerente legate de dimensionarea consumatorilor, care permit folosirea de unităţi mari, cu puteri de 150 MW şi cazane de 525 t/h, cu

parametri înalți, de 196 at, 540°C, și supraîncălzire intermediară. Energia de condensație este produsă cu un consum specific foarte apropiat de cel al turbinelor de 330 MW cu condensație.

Funcție de regimul de funcționare se obține în termoficare, cu livrare maximă de căldură, un randament de producere a energiei electrice de 60—65%, iar în condensație un randament de 32—34%.

Pentru situațiile din țara noastră și ținînd seama și de încadrarea în sistem a puterii acestor grupuri, randamentele medii anuale sînt de 40—46%.

Centralele de termoficare cu consum de căldură preponderent industrial se echipează de regulă cu grupuri de 50 MW cu contrapresiune; cazanele sînt cu circulație naturală, la parametri de 140 at, 540°C. Pentru aceste grupuri, randamentele producerii energiei electrice sînt de 68—75%, funcție de felul combustibilului. Dezavantajele și limitările schemei cu turbine cu contrapresiune sînt obținerea unei puteri mai reduse (destinderea aburului fiind mai mică) și limitarea utilizării lor numai acolo unde există un consum termic important și cu durată mare de utilizare anuală (puterea electrică fiind direct dependentă de livrarea de căldură). Și la centralele de termoficare sînt de avut în vedere preocupările pentru ameliorarea în continuare a randamentelor, menționate la centralele cu condensație.

În promovarea fabricării grupurilor cu performanțe ridicate, ISPE și-a adus aportul la:

— grupul de putere unitară mare, cu supraîncălzire intermediară, tip FIL-150, pentru termoficare urbană;

— grupul cu contrapresiune de 50 MW, derivat din grupul cu condensație și prize tip DSL-50, deci mai ieftin și mai ușor de executat decît un grup nou, propus inițial;

— grupurile cu condensație și prize tip DSL—50 (numărul redus care urmează a mai fi fabricate) vor fi executate cu fascicule înglobate în condensator, folosindu-se experiența pozitivă din exploatare de la centralele București-sud și Brazi.

În prezent se studiază oportunitatea realizării grupului de termoficare urbană de 240/330 MW, derivat din grupul de condensație F1C—330, cu modificări structurale.

4. Rezultate obținute prin proiectare în domeniul reducerii consumului specific de combustibil

Progresele realizate datorită aplicării cu consecvență încă din faza de proiectare a căilor prezentate mai sus pentru mărirea randamentului fac ca în prezent consumul specific net de combustibil obținut pe ansamblul centralelor termoelectrice din țara noastră să fie la nivelul unora dintre cele mai bune pe plan mondial. În figura 2 este indicată evoluția acestui indice pînă în anul 1975, ultimul an pentru care s-a dispus de date statistice din străinătate.

Se constată că România ocupă un loc de frunte înaintea tuturor țărilor CAER, cu excepția U.R.S.S. De asemenea, România reali-

Caracteristici și performanțe ale unor centrale cu condensație *Tabelul 1*

Nr. crt.	Țara	Centrala	Număr grup × × putere unitară, buc. × MW	Parametrii aburului		Ore de utilizare	Combustibilul	Randamentul net, %	Consumul specific net kcal/kWh	Anul
				presiunea, at	temperatura °C/°C					
1	R.S.R.	Brăila	3×210	130	550/550	6300	păcură + gaze	38,2	2250	1977
2	R.S.R.	Luduș	4×100+ 2×200	130	550/535	7100	gaze	36,7	2345	1977
3	R.S.R.	Borzești	2×210	130	535/535	5400	păcură + gaze	33,2	2500	1977
4	R.S.R.	Craiova II	3×315	196	535/535	5800	lignit	33,3	2580	1977
5	R.S.R.	Rovinari	2×200	165	545/545	4100	lignit	27,2	3160	1977
6	R.S.R.	Mintia	5×210	130	550/550	6600	huilă	33,5	2570	1977
7	R.P.B.	Varna	3×210	140	570/570	4905	antracit	32,7	2632	1975
8	R.D.G.	Tierbach	4×210	130	545/545	5812	lignit	30,5	2814	1975
9	R.D.G.	Boxberg	6×210	130	550/550	7195	lignit	32,9	2610	1975
10	R.P.P.	Turow	10×200	162	540/540	7066	lignit	31,5	2737	1975
11	R.P.P.	Cozenice	8×200	162	540/540	6542	huilă	33,9	2541	1975
12	U.R.S.S.	Kostromskaia	8×300	255	540/540	6746	păcură	37,8	2272	1975
13	U.R.S.S.	Belovskaia	6×210	140	545/545	7816	huilă	36,4	2359	1975
14	R.S.C.	Počerad	4×200	178	550/560	5528	cărbune brun	31,9	2702	1975
15	R.S.C.	Tušemice	6×110	140	575/540	5064	cărbune brun	28,3	3045	1975
16	Franța	Artix	3×125	125	540/540	7771	gaze	36,2	2370	1974
17	Franța	Arzujanx	1×125	125	540/540	3439	lignit	25,7	3340	1974
18	Franța	Pont sur Sambre	2×125	125	540/540	7227	huilă	35,1	2450	1974
19	Franța	Montereau	2×250	163	565/565	5690	huilă	38,1	2260	1974
20	Franța	Saint-Ouen	2×250	163	565/565	5547	păcură	37,6	2280	1974
21	Franța	Le Hâvre	1×600	163	565/565	6355	huilă	38,6	2230	1974
22	Anglia	West-Thurrax	3×280+ 2×200	162	566	4090	huilă	32,92	2615	1972/73
23	Anglia	Tilbury	1×315+ 2×220+ 1×285	162	566	1860	huilă	28,37	3030	1972/73
24	Anglia	Willington B	2×200	165	566	3860	huilă	32,11	2680	1972/73
25	Anglia	Fawley	4×500	162	538	4610	păcură	35,24	2440	1972/73

zează consumuri specifice mai bune decît ţări occidentale cu veche tradiţie industrială, ca Anglia şi S.U.A. Unul din motivele acestei situaţii favorabile îl constituie promovarea termoficării în ţara noastră, care s-a făcut în mod intens şi continuu.

În tabelul 1 sînt prezentate randamentele şi consumurile specifice nete de căldură reali-

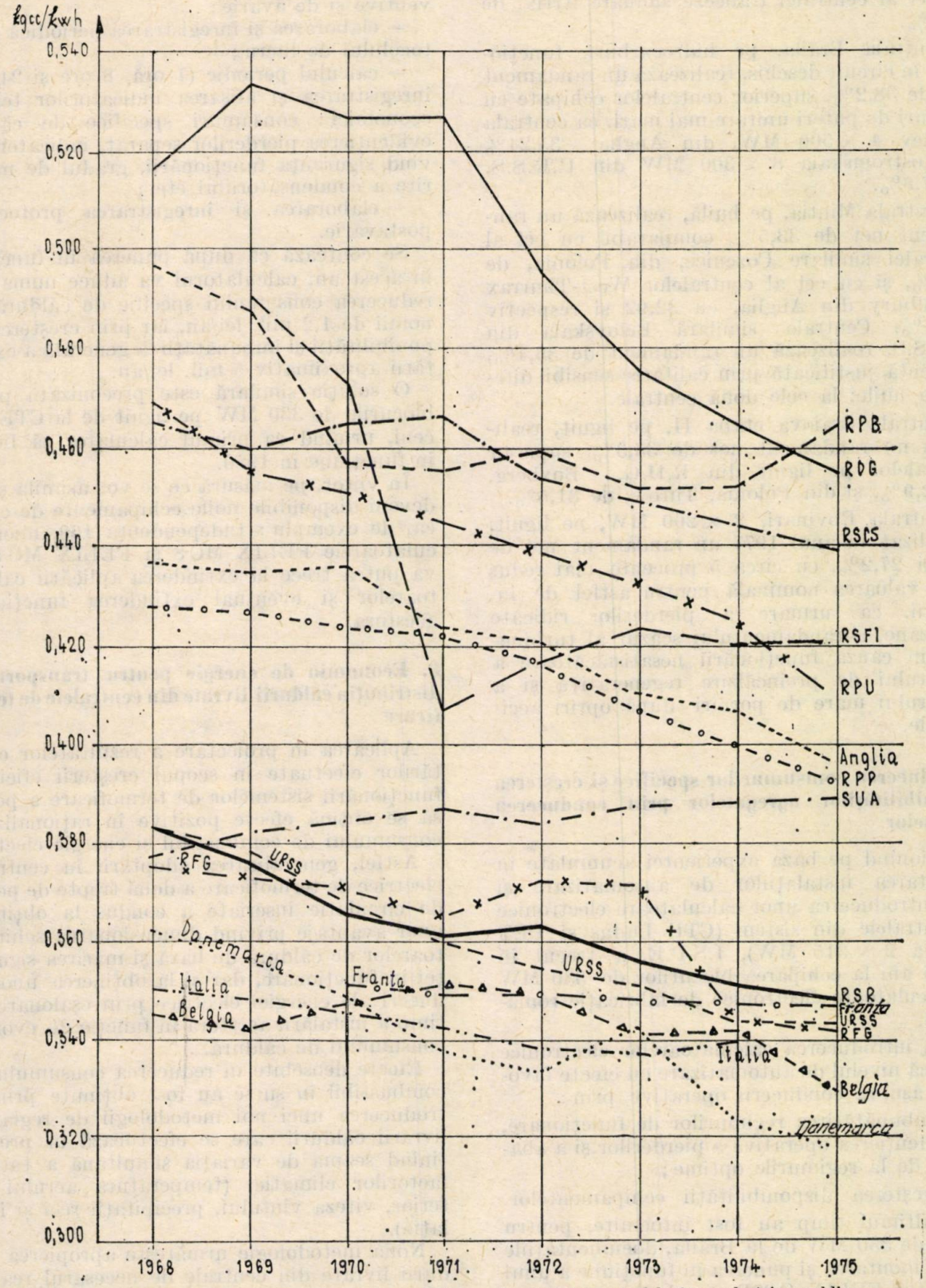


Fig. 2. Evoluţia consumului specific net de combustibil în centralele termoelectrice publice.

zate în unele centrale de condensaţie reprezentative din România, din ţările membre ale CAER, Franţa şi Anglia.

Centrala Ludus, funcţionînd pe gaze, realizează un randament net de 36,7%, comparabil cu cel al centralei franceze similare Artix, de 36,2%.

Centrala Brăila, pe hidrocarburi, funcţionînd în circuit deschis, realizează un randament net de 38,2%, superior centralelor echipate cu grupuri de puteri unitare mai mari, ca centrala Fawley 4 × 500 MW, din Anglia — 35,24% şi Kostromskaia 8 × 300 MW din U.R.S.S. — 37,8%.

Centrala Mintia, pe huilă, realizează un randament net de 33,5%, comparabil cu cel al centralei similare Cozenice, din Polonia, de 33,9%, şi cu cel al centralelor West-Thurrax şi Tilbury din Anglia, cu 32,92 şi respectiv 32,11%. Centrala similară Belovskaia din U.R.S.S. realizează un randament de 36,4%, diferenţă justificată prin calitatea sensibil diferită a huilei la cele două centrale.

Centrala Craiova etapa II, pe lignit, realizează un randament net de 33,3%, superior centralelor pe lignit din R.D.G. — Boxberg, de 32,9%, şi din Polonia, Turow, de 31,5%.

Centrala Rovinari, 2 × 200 MW, pe lignit, a realizat în anul 1977 un randament net de numai 27,2%, cu circa 5 procente mai redus decît valoarea nominală pentru astfel de instalaţii, ca urmare a pierderilor ridicate la cazane, a randamentului scăzut al turbinelor din cauza funcţionării nesatisfăcătoare a circuitului de preîncălzire regenerativă şi a numărului mare de porniri după opriri accidentale.

5. Reducerea comsumurilor specifice şi creşterea disponibilităţilor agregatelor prin conducerea proceselor

Acţionînd pe baza experienţei acumulate în proiectarea instalaţiilor de automatizare şi prin introducerea unor calculatoare electronice la centralele din sistem (CTE Ludus şi CET Craiova 2 × 315 MW), I.S.P.E. a trecut în ultimii ani la echiparea blocurilor de 330 MW cu calculatoare electronice de fabricaţie românească.

Prin introducerea calculatoarelor electronice se ridică nivelul de automatizare cu efecte favorabile asupra conducerii operative prin :

— îmbunătăţirea regimurilor de funcţionare, cu evidenţierea operativă a pierderilor şi a abaterilor de la regimurile optime ;

— creşterea disponibilităţii echipamentelor.

În ultimul timp au fost întocmite, pentru blocul de 330 MW de la Brăila, documentaţiile pentru montarea şi punerea în funcţiune a unui calculator FELIX C 32P cu rol de tratare automată a informaţiilor. Funcţiile calculatorului sînt următoarele :

— măsură numerică la alegere cu afişarea pe dispozitive cu tub catodic ;

— afişarea şi înregistrarea semnalizărilor preventive şi de avarie ;

— elaborarea şi înregistrarea periodică a protocolului de lucru ;

— calculul periodic (1 oră, 8 ore şi 24 ore), înregistrarea şi afişarea indicatorilor tehnico-economici : consumuri specifice de căldură, evidenţierea pierderilor separat, indicatori privind siguranţa funcţionării, gradul de murdărire a condensatorului etc. ;

— elaborarea şi înregistrarea protocolului postavarie.

Se contează că după punerea în funcţiune, în acest an, calculatorul va aduce numai prin reducerea consumului specific de căldură economii de 1,2 mil. lei/an, iar prin creşterea disponibilităţii şi îmbunătăţirea generală a exploatării aproximativ 5 mil. lei/an.

O soluţie similară este preconizată pentru blocurile de 330 MW pe lignit de la CTE Turceni, urmînd ca primul calculator să fie pus în funcţiune în 1980.

În viitor, pe măsură ce se vor asimila şi vor deveni disponibile noile echipamente de calcul, ca, de exemplu : Independenţa 100, microcalculatoarele FELIX MC 8 şi FELIX MC 80, se va putea trece la extinderea aplicării calculatoarelor şi eventual extinderea funcţiunilor acestora.

6. Economia de energie pentru transportul şi distribuţia căldurii livrate din centralele de termoficare

Aplicarea în proiectare a rezultatelor cercetărilor efectuate în scopul creşterii eficienţei funcţionării sistemelor de termoficare a permis să se obţină efecte pozitive în raţionalizarea consumului de combustibil şi energie electrică.

Astfel, generalizarea adoptării în centralele electrice de termoficare a două trepte de pompe de circulaţie înseriate a condus la obţinerea unor avantaje privind dimensionarea schimbătoarelor de căldură de bază şi mărirea siguranţei în funcţionare, dar şi la obţinerea unor reduceri ale energiei electrice prin eşalonarea în timp a instalării acestora în funcţie de evoluţia consumului de căldură.

Efecte deosebite în reducerea consumului de combustibil în surse au fost obţinute prin introducerea unei noi metodologii de reglare a livrării căldurii care se efectuează în prezent ţinînd seama de variaţia simultană a tuturor factorilor climatici (temperatura aerului exterior, viteza vîntului, precipitaţii reci şi insolaţie).

Noua metodologie urmăreşte apropierea căldurii livrate din centrale de necesarul real de căldură al consumatorilor.

Diferențierea regimurilor hidraulice și termice ale serelor față de consumatorii urbani a permis eliminarea consumurilor suplimentare de combustibil ce se realizau în condițiile reglajului comun. Această măsură, aflată în curs de generalizare prin proiectele elaborate în prezent, s-a realizat prin adoptarea reglajului mixt de livrare a căldurii la sere. Reglajul este realizat fie cu ajutorul cuplelor hidraulice (CET Brazi), fie în trepte de debit (CET București-sud și CET București-vest).

Configurația rețelei și dimensionarea acesteia urmărește realizarea unor căderi de presiune și pierderi de căldură cît mai reduse, cu efecte asupra energiei de pompare și a consumului de combustibil în centrale, asigurînd în același timp un înalt grad de siguranță în alimentarea cu căldură a consumatorilor. Astfel realizarea magistralelor de termoficare în sistem bitubular și configurația arborescentă cu ramificații și bucle de ajutor, asigură optimizarea transportului căldurii.

Pentru reducerea pierderilor de căldură în rețele au fost aplicate rezultatele studiilor privind stabilirea grosimii optime a izolațiilor termice, ceea ce a condus la reducerea pierderilor de căldură sub valorile normate. Sînt în curs studii și cercetări privind îmbunătățirea în continuare a izolațiilor termice prin folosirea unor materiale și tehnologii noi. A fost definitivată experimentarea metodologiei de diafragmare a rețelelor de termoficare în scopul echilibrării hidraulice a acestora. În cursul anului 1978 va fi elaborată metodologia unitară de diafragmare extinsă și asupra rețelelor secundare, ceea ce va permite eliminarea „supraconsumului zonal".

În ceea ce privește consumatorii, se subliniază efectele obținute prin generalizarea adoptării „schemei în două trepte — serie optimizată" de preparare a apei calde de consum, care a permis reducerea debitelor de agent termic pompat prin instalațiile CET cu circa 20%, obținîndu-se reduceri ale energiei electrice consumate în surse.

A fost extinsă aplicarea schemelor de automatizare, măsură și control a punctelor termice, realizîndu-se instalații cu aparatură din țară, care să asigure adoptarea noii metodologii de reglare la nivelul treptei a II-a de reglaj.

Tot în domeniul consumatorilor, odată cu realizarea în țară a contoarelor de căldură aflate în fază de prototip, se va trece pe scară largă la introducerea contorizării căldurii.

7. Concepția de dezvoltare în perspectivă a centralelor termoelectrice legată de reducerea consumurilor specifice de combustibil

Una dintre principalele căi de realizare a reducerii consumurilor specifice de combustibil este producerea combinată de energie electrică și căldură (termoficare) și se prevede în consecință dezvoltarea cu precădere a centralelor de termoficare.

Nu trebuie uitat însă faptul că producerea combinată de energie electrică și căldură nu constituie un scop în sine și că, în orice caz, reducerea consumului de căldură prin evitarea risipei reprezintă o soluție mai economică decît termoficarea.

În condițiile unor cantități limitate de lignit ce va fi livrat centralelor în următoarea decadă, I.S.P.E. a efectuat studii pentru stabilirea modului celui mai avantajos de valorificare a acestor cantități.

Analiza și comparările efectuate au demonstrat că este mai avantajoasă realizarea de centrale electrice de termoficare amplasate chiar la distanțe mai mari față de zona de extracție, în comparație cu utilizarea lignitului în centrale termoelectrice de condensație cu grupuri de 330 MW, amplasate în imediata apropiere a minei.

Gradul de utilizare a căldurii din arderea cantității de lignit crește, astfel, de la 57 la 66%, iar randamentul net pentru producerea energiei electrice pentru centralele pe lignit examinate crește de la 32 la 44%.

Dată fiind calitatea lignitului (P_{ci} = 1600 kcal/kg) cu circa 25% cenușă și circa 40% apă, se pun probleme deosebite pentru dimensionarea și concepția centralelor, cît și pentru transportul cărbunelui.

Eficiența economică și modul de echipare a centralelor de termoficare ce urmează a se construi pe lignit, transportat la distanță, au fost examinate comparativ cu folosirea păcurii obținute din import la diferite prețuri, în funcție de conjunctura economică internațională. Eficiența economică a fost determinată funcție de mărimea consumului, de tipul grupului și de distanța de transport al lignitului.

Grupurile cu contrapresiune cu puteri unitare de 50 MW și parametrii aburului viu de 140 at, 540°C au rezultat avantajoase pentru centralele în care se asigură durate de utilizare mai mari de 5000 h/an, amplasate pînă la distanța de circa 400 km față de sursa de alimentare cu lignit, la un raport de 2,4 între prețul păcurii și prețul lignitului, corespunzător prețurilor actuale. Pentru același raport al prețurilor și la aceeași durată de utilizare, centralele cu grupuri de condensație și prize reglabile de 50 MW se pot amplasa pînă la o distanță de 150 km.

În cazul centralelor de termoficare urbană, echipate cu grupuri de 150 MW cu condensație și priză, distanța față de sursa de aprovizionare cu lignit pînă la care poate fi economică amplasarea centralei, în actualul raport între prețul păcurii și al cărbunelui, este de 250—300 km.

Coeficientul orar de termoficare (raportul între debitul orar de căldură livrat din prizele sau contrapresiunea grupurilor şi consumul total de căldură la vîrful de iarnă) optim pentru centralele de termoficare este de asemenea funcţie de distanţa de transport; la centralele de termoficare industriale echipate cu grupuri de 50 MW, în zona de extracţie a lignitului are o valoare de 0,8, iar la distanţa de 400 km va ajunge la 0,55 (fig. 3).

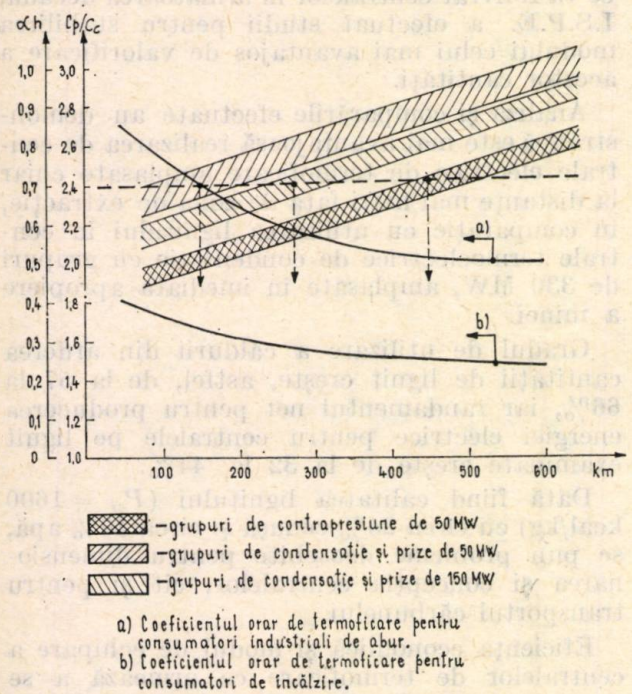


Fig. 3. Influenţa distanţei şi a raportului dintre preţul păcurii (C_p) şi al cărbunelui (C_c) asupra eficienţei diferitelor grupuri de termoficare şi asupra coeficientului orar de termoficare optim (α_h).

La centrale de termoficare urbană, echipate cu grupuri de 150 MW, la distanţa limită de 250—300 MW, coeficientul orar de termoficare optim se reduce la 0,2 faţă de 0,3, cît ar fi optim pentru amplasamentele care nu necesită transport de cărbune.

8. Îmbunătăţirea consumului specific de combustibil al unor centrale de condensaţie existente, prin transformarea sau adaptarea grupurilor pentru livrarea de căldură în termoficare prin prize

Pentru o creştere a randamentului net al centralelor termoelectrice ale M.E.E. şi avînd în vedere înlocuirea consumului de hidrocarburi cu cărbune, s-a examinat şi posibilitatea şi oportunitatea trecerii unor grupuri de condensaţie la regim de funcţionare cu livrare de căldură.

Pentru grupurile analizate, cele mai avantajoase metode de transformare sau adaptare, la funcţionare în regim de termoficare, în condiţiile din ţara noastră, sînt:

— soluţia construcţiei unei prize reglabile la debite mari de căldură;

— soluţia extracţiei de abur la prizele fixe pentru debite mici şi medii de căldură.

Din studiile efectuate a rezultat că pot fi adaptate pentru termoficare centralele:

— CTE Paroşeni — livrare de căldură oraşelor de pe valea Jiului. Se prevede modificarea grupurilor de 50 MW prin realizarea unei prize reglabile de 2,5—1,5 at (fig. 4);

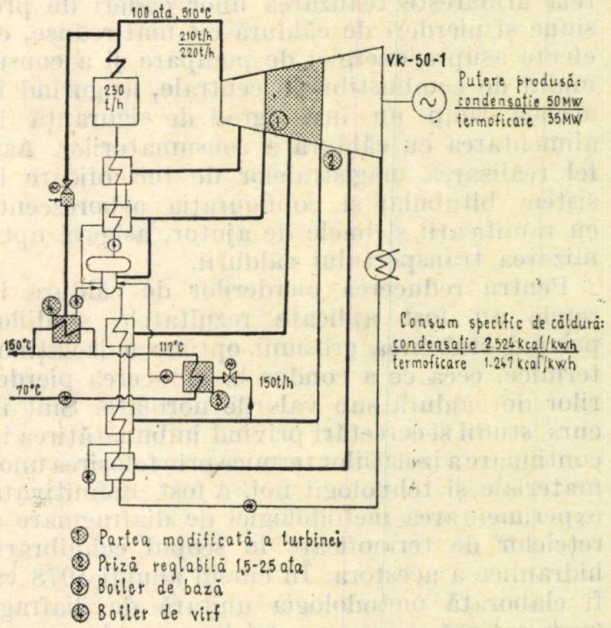


Fig. 4. Schemă termică de principiu — grup de 50 MW cu condensaţie — transformare pentru termoficare — CTE Paroşeni.

— CTE Deva — livrare de căldură oraşului şi serelor prin folosirea prizelor fixe;

— CTE Craiova — livrare de căldură la sere, prin folosirea prizei nereglate (ieşire corp medie presiune) a grupurilor de 315 MW;

— CTE Turceni — livrare de căldură la sere. Se preconizează folosirea prizei nereglate a grupurilor de 330 MW (fig. 5);

— CTE Oraviţa — livrare de căldură oraşului. Se preconizează folosirea prizelor nereglate ale grupurilor de 330 MW.

Este în curs elaborarea de proiecte pentru aceste centrale.

Se constată că prin adaptarea centralelor pentru termoficare se obţin economii de combustibil pe centrală de 12 000 — 80 000 t c.c./an, funcţie de caracteristicile turbinelor şi mărimea consumului de căldură (tabelul 2).

Economia de combustibil specifică ce poate fi realizată are valori cuprinse între 6 şi 12 kg c.c./Gcal.

Consumul specific net de combustibil pentru producerea energiei electrice la centralele de condensaţie adaptate pentru termoficare se reduce cu circa 0,7—1,3% la cele echipate

Tabelul 2

Centrale de condensaţie preconizate a fi adaptate pentru termoficare

Centrala	Grupuri care se modifică buc. × MW	Căldură livrată		Reducere		Consum specific de combustibil net, gc. c./kWh		Economia de combustibil t c.c./an
		orar Gcal/h	anual Gcal/an	puterea MW	energia 6W/an	funcţionare în condensaţie	funcţionare în termoficare	
CTE Paroşeni	3×50	273	718000	36	90	455	402	79800
CTE Deva	6×210	206	455000	58	145	368	363	37900
CTE Craiova	2×315	170	390000	60	130	380	377	22000
CTE Turceni	4×330	270	737000	90	266	364	360	45100
CTE Oraviţa	2×330	47	102000	11	20	422	419	12000

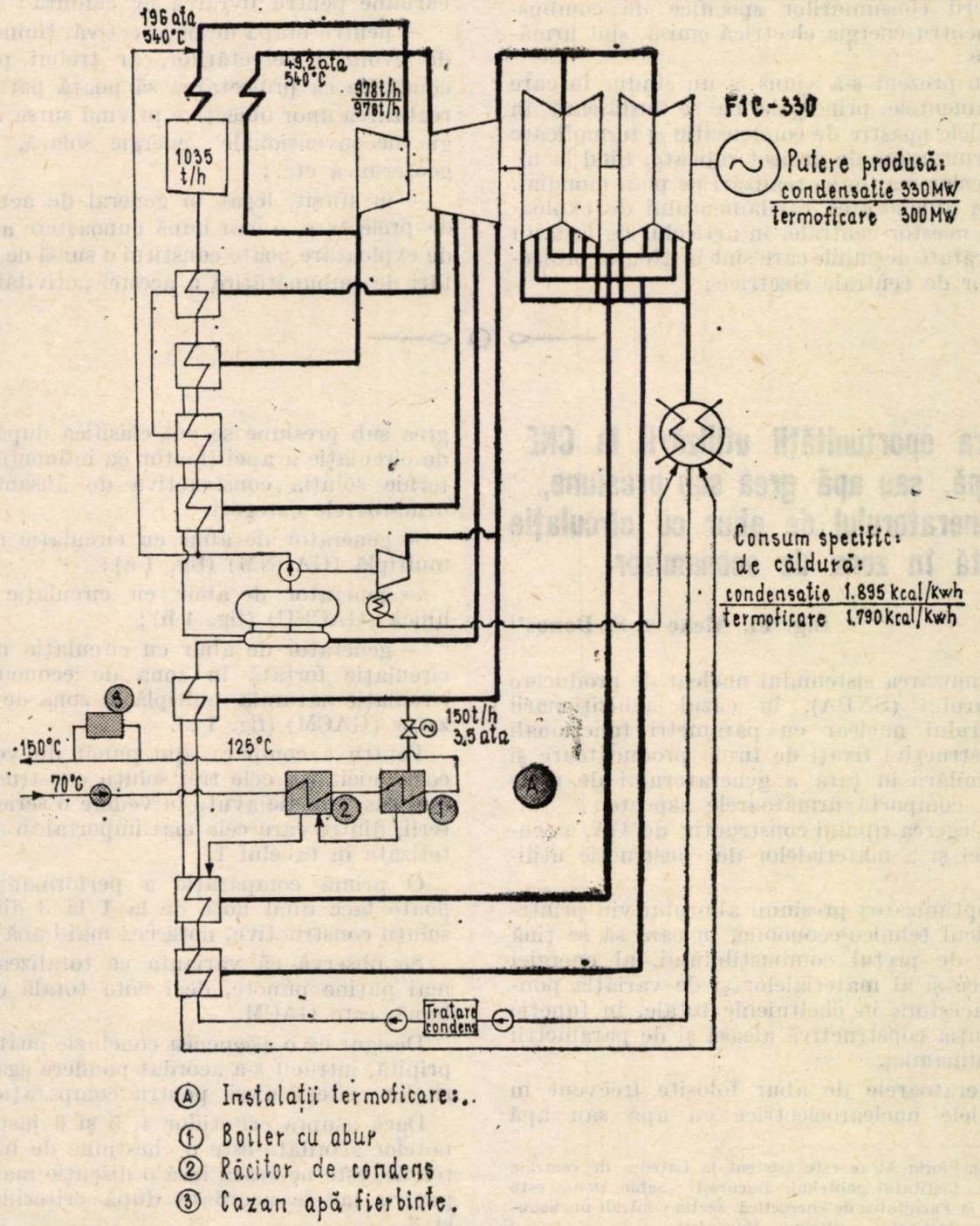


Fig. 5. Schemă termică de principiu — grup de 330 MW cu condensaţie — adaptare pentru termoficare.

cu grupuri mari, 100—330 MW şi respectiv cu circa 12 la grupurile de 50 MW.

Se menţionează că problema adaptării turbinelor de condensaţie din centralele termoelectrice pentru funcţionarea în termoficare este condiţionată de amplasarea în zonele acestor centrale a unor consumatori de căldură, urbani sau agricoli, cu debite corelate cu posibilităţile de livrare din grupuri.

Concluzii

Concluziile care se desprind din acţiunea de proiectare a centralelor electrice, dusă în scopul reducerii consumurilor specifice de combustibil pentru energia electrică emisă, sînt următoarele:

— în prezent s-a ajuns la un stadiu în care echipamentele principale ce se instalează în centralele noastre de condensaţie şi termoficare au performanţe de proiect ridicate, fiind la nivelul celor mai bune realizări pe plan mondial. Pentru ameliorarea randamentului de exploatare a acestor centrale, în articolul de faţă au fost arătate acţiunile care sînt în atenţia proiectanţilor de centrale electrice;

— un domeniu accesibil de îmbunătăţire a randamentului este cel al consumului propriu de energie electrică. În acest scop este necesară promovarea, împreună cu constructorii de echipamente, de instalaţii auxiliare cu randamente mai ridicate decît cele utilizate în prezent;

— pentru etapa imediată, în condiţiile folosirii cît mai eficiente a cărbunilor din ţara noastră şi în ideea reducerii consumului de hidrocarburi, vor fi promovate în special centralele de termoficare, dîndu-se soluţii de modificare şi adaptare a unor centrale existente pe cărbune pentru livrarea de căldură:

— pentru etapa de perspectivă, ţinînd seama de evoluţia cercetărilor, ar trebui pregătite condiţiile ca proiectarea să poată participa la realizarea unor obiective privind surse de energie neconvenţionale: energie solară, eoliană, geotermică etc.;

— în sfîrşit, legat în general de activitatea de proiectare, o mai bună cunoaştere a datelor de exploatare poate constitui o sursă de posibilităţi de îmbunătăţire a acestei activităţi.

Asupra oportunităţii utilizării la CNE cu apă, sau apă grea sub presiune, a generatorului de abur cu circulaţie forţată în zona de economizor

Ing. **Fl. Alexe** şi **S. Donos***)

Optimizarea sistemului nuclear de producere a aburului (SNPA), în cazul achiziţionării reactorului nuclear cu parametri funcţionali şi constructivi fixaţi de firma producătoare şi al asimilării în ţară a generatorului de abur (GA), comportă următoarele aspecte:

— alegerea tipului constructiv de GA, a tehnologiei şi a materialelor de construcţie utilizate;

— optimizarea presiunii aburului viu printr-un calcul tehnico-economic, în care să se ţină seama de preţul combustibilului, al energiei electrice şi al materialelor şi de variaţia ponderii acestora în cheltuielile totale, în funcţie de soluţia constructivă aleasă şi de parametrii termodinamici.

Generatoarele de abur folosite frecvent în centralele nuclearoelectrice cu apă sau apă grea sub presiune se pot clasifica după modul de circulaţie a apei (factor ce influenţează puternic soluţia constructivă de ansamblu) în următoarele categorii:

— generator de abur cu circulaţie naturală multiplă (GACNM) (fig. 1 a);

— generator de abur cu circulaţie forţată unică (GACFU) (fig. 1 b);

— generator de abur cu circulaţie mixtă — circulaţie forţată în zona de economizor şi circulaţie naturală multiplă în zona de vaporizator (GACM) (fig. 1 c).

Pentru a compara, din punct de vedere al economicităţii, cele trei soluţii constructive de mai sus, trebuie avute în vedere o serie de criterii, dintre care cele mai importante sînt sintetizate în tabelul 1.

O primă comparaţie a performanţelor se poate face dînd note de la 1 la 3 diferitelor soluţii constructive, nota cea mai bună fiind 1.

Se observă că varianta ce totalizează cele mai puţine puncte, deci nota totală cea mai bună, este GACM.

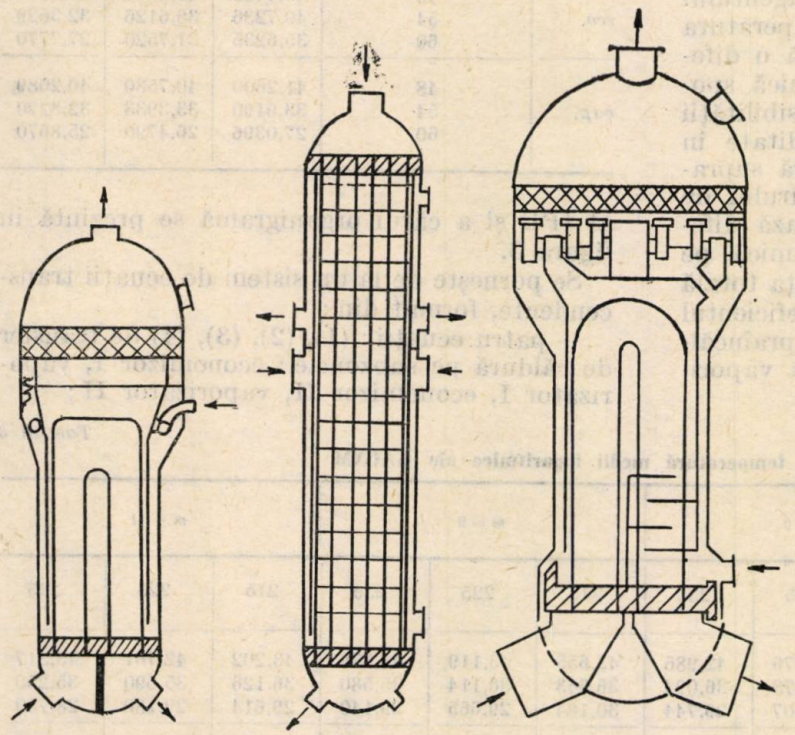
Desigur că o asemenea concluzie poate părea pripită, întrucît s-a acordat pondere egală diferitelor criterii alese pentru comparaţie.

Dacă asupra criteriilor 4, 5 şi 6 justificarea notelor acordate este o chestiune de bun simţ tehnic, este necesară însă o discuţie mai amplă pentru notele acordate după criteriile 1, 2 şi 3.

*) Ing. Florin Alexe este asistent la Catedra de centrale electrice, Institutul politehnic Bucureşti; Sabin Donos este student la Facultatea de energetică, secţia Centrale nuclearoelectrice, Institutul politehnic Bucureşti.

Analizînd forma diagramelor $t - q$ (fig. 2) pentru diferite tipuri de GA, se pot face următoarele observaţii :

— GACNM se poate descompune în două aparate de schimb de căldură, dintre care unul în contracurent şi celălalt în echicurent. Temperatura de intrare a apei în fiecare dintre cele două schimbătoare este cu mult superioară temperaturii de alimentare a GA, datorită amestecului dintre apa de alimentare şi masa de apă caldă recirculată în generator. Aceasta conduce la o reducere a diferenţei de temperatură medie logaritmică în zona de economizor a fascicolului coborîtor şi la o scădere sensibilă a puterii pe acest fascicol. În fascicolul urcător, circulaţia în echicurent face ca temperatura ridicată a apei calde la intrarea în generator să fie prost utilizată din punct de vedere energetic, diferenţa de temperatură medie logaritmică în zona de vaporizator fiind mai redusă decît la un GACM. În ansamblu, forma diagramei $t - q$ este dezavantajoasă, datorită prezenţei zonei de echicurent şi temperaturii ridicate a apei la intrarea în fascicolul de schimb de căldură. Aceasta măreşte suprafaţa de schimb de



a) b) c)

Fig. 1. Tipuri de generatoare de abur folosite curent în CNE cu apă (sau apă grea) sub presiune.
a) *GACNM*; b) *GACFU*; c) *GACM*

Tabelul 1

Comparaţie între tipurile de GA considerate, pe baza principalelor criterii tehnice şi economice

Criteriul	GACNM	GACFU	GACM
Randamentul exergetic	3	2	1
Forma diagramei $t - q$ şi suprafaţa de schimb de căldură necesară	3	2	1
Consum de metal	3	1	2
Consum de energie electrică pentru pompare	1	3	2
Calitatea apei de alimentare	1	2	1
Tehnologia de fabricaţie	1	3	2
	Total 12	13	9

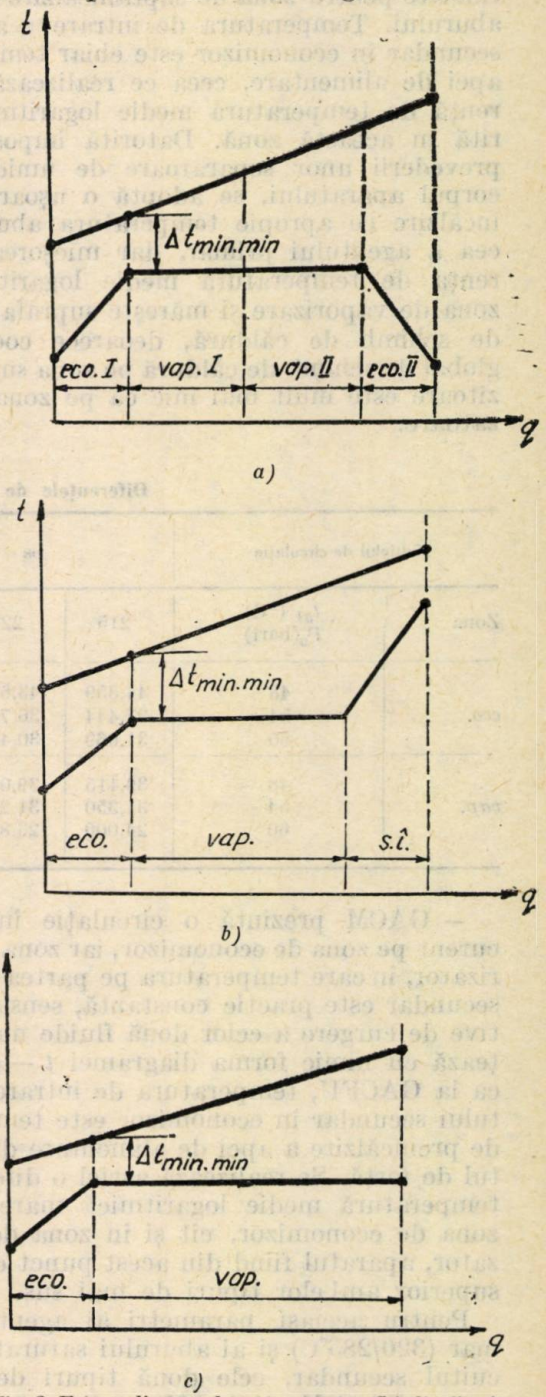


Fig. 2. Forma diagranelor $t - q$ pentru *GA* din fig. 1.
a) *GACNM*; b) *GACFU*; c) *GACM*

căldură necesară şi limitează parametrii de lucru ai generatorului.

— GACFU are o diagramă $t - q$ tipică pentru un aparat de schimb de căldură în contracurent, realizînd o bună utilizare a temperaturii ridicate pentru zona de supraîncălzire uşoară a aburului. Temperatura de intrare a agentului secundar în economizor este chiar temperatura apei de alimentare, ceea ce realizează o diferenţă de temperatură medie logaritmică sporită în această zonă. Datorită imposibilităţii prevederii unor separatoare de umiditate în corpul aparatului, se adoptă o uşoară supraîncălzire ce apropie temperatura aburului de cea a agentului primar, dar micşorează diferenţa de temperatură medie logaritmică pe zona de vaporizare şi măreşte suprafaţa totală de schimb de căldură, deoarece coeficientul global de schimb de căldură pe zona supraîncălzitoare este mult mai mic ca pe zona vaporizatoare.

Tabelul 2

Diferenţele de temperatură medii logaritmice ale GAGM

Zona	t_{al} (°C) / P_0 (bari)	215	225	235
eco.	48	45,6460	41,2894	36,7770
	54	40,7236	36,6126	32,3629
	60	35,6235	31,7520	27,7770
vap.	48	41,2600	40,7580	40,2089
	54	33,9190	33,3933	32,8220
	60	27,0396	26,4790	25,8670

— GACM prezintă o circulaţie în contracurent pe zona de economizor, iar zona de vaporizator, în care temperatura pe partea de agent secundar este practic constantă, sensurile relative de curgere a celor două fluide nu influenţează cu nimic forma diagramei $t - q$. La fel ca la GACFU, temperatura de intrare a agentului secundar în economizor este temperatura de preîncălzire a apei de alimentare din circuitul de forţă. Se realizează astfel o diferenţă de temperatură medie logaritmică mare, atît în zona de economizor, cît şi în zona de vaporizator, aparatul fiind din acest punct de vedere superior amlelor tipuri de mai sus.

Pentru aceiaşi parametri ai agentului primar (320/285°C) şi ai aburului saturat din circuitul secundar, cele două tipuri de generatoare (GACNM şi GACM) realizează diferenţe de temperatură medii logaritmice pe zona de economizor şi zona de vaporizator, a căror valoare se dă în tabelele 2 şi 3.

Calculul împărţirii puterii pe ramuri la GACNM s-a făcut cu ajutorul unui program de calcul în FORTRAN — IV, prelucrat pe calculatorul IBM—1130 al Centrului de calcul al IPB şi a cărui organigramă se prezintă în figura 3.

Se porneşte de la un sistem de ecuaţii transcendente, format din :

— patru ecuaţii : (1), (2), (3), (4) de transfer de căldură pe subzonele : economizor I, vaporizator I, economizor II, vaporizator II;

Tabelul 3

Diferenţele de temperatură medii logaritmice ale GACNM

Multiplul de circulaţie		$m = 7$			$m = 9$			$m = 11$		
Zona	t_{al} (°C) / P_0(bari)	215	225	235	215	225	235	215	225	235
eco.	48	44,359	43,676	42,986	43,655	43,119	42,578	43,202	42,761	43,317
	54	37,444	36,773	36,094	36,643	36,114	35,580	36,126	35,690	35,250
	60	31,069	30,407	29,744	30,184	29,665	29,140	29,614	29,180	28,750
vap.	48	39,115	39,000	38,890	39,116	39,000	38,890	37,116	39,000	38,890
	54	31,350	31,220	31,077	31,350	31,220	31,077	31,350	31,220	31,077
	60	24,000	23,820	23,640	24,000	23,820	23,640	24,000	23,820	23,640

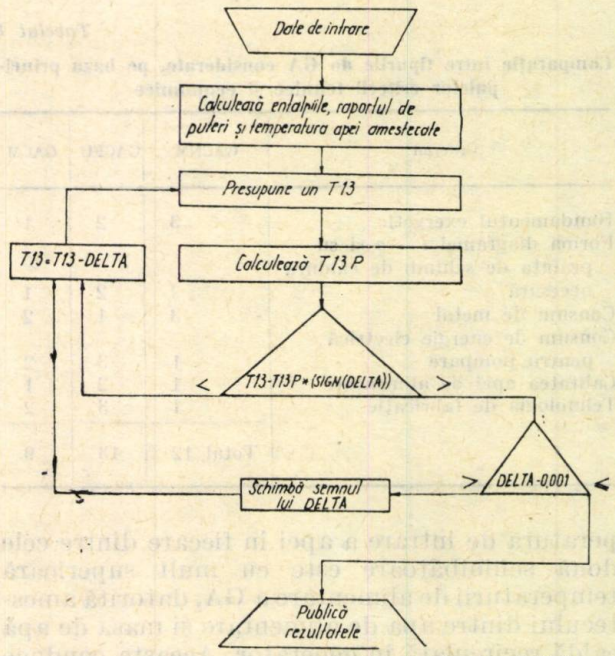


Fig. 3. Organigrama programului de calcul a împărţirii puterii pe ramuri şi a diferenţelor de temperatură medii logaritmice la GACNM.

— o ecuaţie (5) reprezentînd condiţia ca suma puterilor termice pe cele două ramuri să fie egală cu puterea termică totală;

— o ecuaţie (6) reprezentînd valoarea temperaturii intermediare a agentului primar în funcţie de repartiţia puterilor pe ramuri şi de temperaturile de intrare şi de ieşire a agentului termic pe ramuri;

— o condiţie suplimentară (7), reprezentînd egalitatea multiplului de circulaţie pe cele două ramuri ale fasicolului tubular (4).

Sistemul de ecuaţii este:

$$P_{t\,eco\,1} = n_{tevi}\, L_{eco\,1}\, K_{eco} \cdot \Delta t_{ml\,eco\,1} \quad (1)$$

$$P_{t\,eco\,2} = n_{tevi}\, L_{eco\,2}\, K_{eco} \cdot \Delta t_{ml\,eco\,2} \quad (2)$$

$$P_{t\,vap\,1} = n_{tevi}\, L_{vap\,1}\, K_{vap} \cdot \Delta t_{ml\,vap\,1} \quad (3)$$

$$P_{t\,vap\,2} = n_{tevi}\, L_{vap\,2}\, K_{vap} \cdot \Delta t_{ml\,vap\,2} \quad (4)$$

$$P_{t\,eco\,1} + P_{tvap1} + P_{t\,eco\,2} + P_{t\,vap\,2} = P_{tt} \quad (5)$$

$$t_{13} = t_{11} - (t_{11} - t_{12}) \frac{P_{t\,eco\,1} + P_{t\,vap\,1}}{P_{tt}} \quad (6)$$

$$P_{t\,eco\,1} = P_{t\,eco\,2} \quad (7)$$

în care

P_{teco1}, P_{teco2} — puterea termică a zonei economizoare I, respectiv II;

P_{tvap1}, P_{tvap2} — puterea termică a zonei vaporizatoare I, respectiv II;

P_{tt} — puterea termică totală a GA;

n_{tevi} — numărul de ţevi;

K_{eco}, K_{vap} — coeficientul global de schimb de căldură pe zona economizoare, respectiv vaporizatoare;

$L_{eco\,1}, L_{eco\,2}$ — lungimea zonei economizoare I, respectiv II;

$L_{vap\,1}, L_{vap\,2}$ — lungimea zonei vaporizatoare I, respectiv II.

Considerînd diferenţele de temperatură medii logaritmice şi făcînd substituţii succesive, sistemul de ecuaţii se reduce la o ecuaţie transcendentă cu o necunoscută, în care celelalte mărimi intervin prin rapoarte criteriale adimensionale. Ecuaţia este

$$t_{13} = t_{11} - \frac{P_{t\,eco1}}{P_{tt}}(t_{11} - t_{12})\left[\frac{\Delta t_{ml\,vap\,1}}{\Delta t_{ml\,vap\,2}}\left(\frac{P_{tt}}{2P_{t\,eco\,1}} - 1\right) + 1 + \frac{K_{vap}}{K_{eco}}\left(\frac{\Delta t_{ml\,vap\,1}}{\Delta t_{ml\,eco\,2}} - \frac{\Delta t_{ml\,vap\,1}}{\Delta t_{ml\,eco\,1}}\right)\right] \quad (8)$$

S-a elaborat un program în FORTRAN-IV de rezolvare a acestei ecuaţii prin iteraţii succesive, putîndu-se astfel determina forma reală a diagramei $t - q$ funcţie de temperaturile: t_{11}, t_{12}, t_s, t_{21}, de multiplul de circulaţie (m) şi de temperatura de alimentare t_a.

Pentru calculul lui t_{21}, s-a aplicat relaţia:

$$t_{21} = \frac{t_{21} + (m-1)\, t_s}{m}, \quad (9)$$

unde multiplul de circulaţie s-a luat conform lucrării [4].

Raporul puterilor $\frac{P_{t\,eco1}}{P_{tt}}$ a fost înlocuit prin raportul entalpiilor, ca mai jos:

$$\frac{P_{t\,eco\,1}}{P_{tt}} = \frac{i'_s - i_{al}}{2(i''_s - i_{al})}. \quad (10)$$

Se observă că nu mai sînt necesare date numerice concrete care să depindă de puterea GA, ci numai rapoarte adimensionale şi date termodinamice ce depind de starea fluidului, şi nu de debitul lui.

Pentru a compara GA cu abur saturat cu GACFU s-a considerat un GACFU care are acelaşi randament exergetic cu cel al aparatelor producătoare de abur saturat şi o supraîncălzire a aburului de circa 25°C.

Diferenţele de temperatură medii logaritmice obţinute pentru zonele de economizor, vaporizator şi supraîncălzitor, precum şi parametrii aburului ce ar trebui produs de acest aparat se dau în tabelul 4.

Tabelul 4

Diferenţele de temperatură medii logaritmice ale GACFU

Zona	t_{al} [°C] / parametri	215	225	235
eco.	47,5/290	45,112	40,810	35,346
	53,5/295	40,133	36,070	31,882
	59,5/300	34,954	31,140	27,220
vap.	47,5/290	39,830	39,330	38,795
	53,5/295	32,540	32,020	31,464
	59,5/300	25,698	25,150	24,550
s.i.	47,5/290	41,760	41,740	41,720
	53,5/295	25/650	35,630	35,610
	58,5/300	29,743	29,727	29,710

Parametrii maximi ai aburului din circuitul secundar sînt limitaţi de diferenţa de temperatură $\Delta t_{min \cdot\, min}$, cînd aceasta are valoarea nulă, suprafaţa de schimb de căldură fiind infinită.

Limita superioară a presiunii aburului viu ce se poate obţine la GACNM este coborîtă în comparaţie cu GACM şi GACFU, datorită scăderii diferenţei minime de temperatură şi diferenţei de temperatură medii logaritmice în zona de economizor, în urma amestecului dintre apa rece de alimentare şi apa caldă recirculată.

Valoarea presiunii aburului viu depinde de temperatura apei de alimentare şi de multiplul de circulaţie, crescînd la micşorarea multiplului de circulaţie. La multipli de circulaţie mici ($m < 9$) se pot obţine parametri mai ridicaţi la generatoarele cu temperatură scăzută a apei de alimentare, în timp ce la multipli de circulaţie mari sînt avantajoase schemele cu preîncălzire avansată a apei.

Reprezentarea grafică a nivelului maxim de presiune a aburului secundar în GACNM,

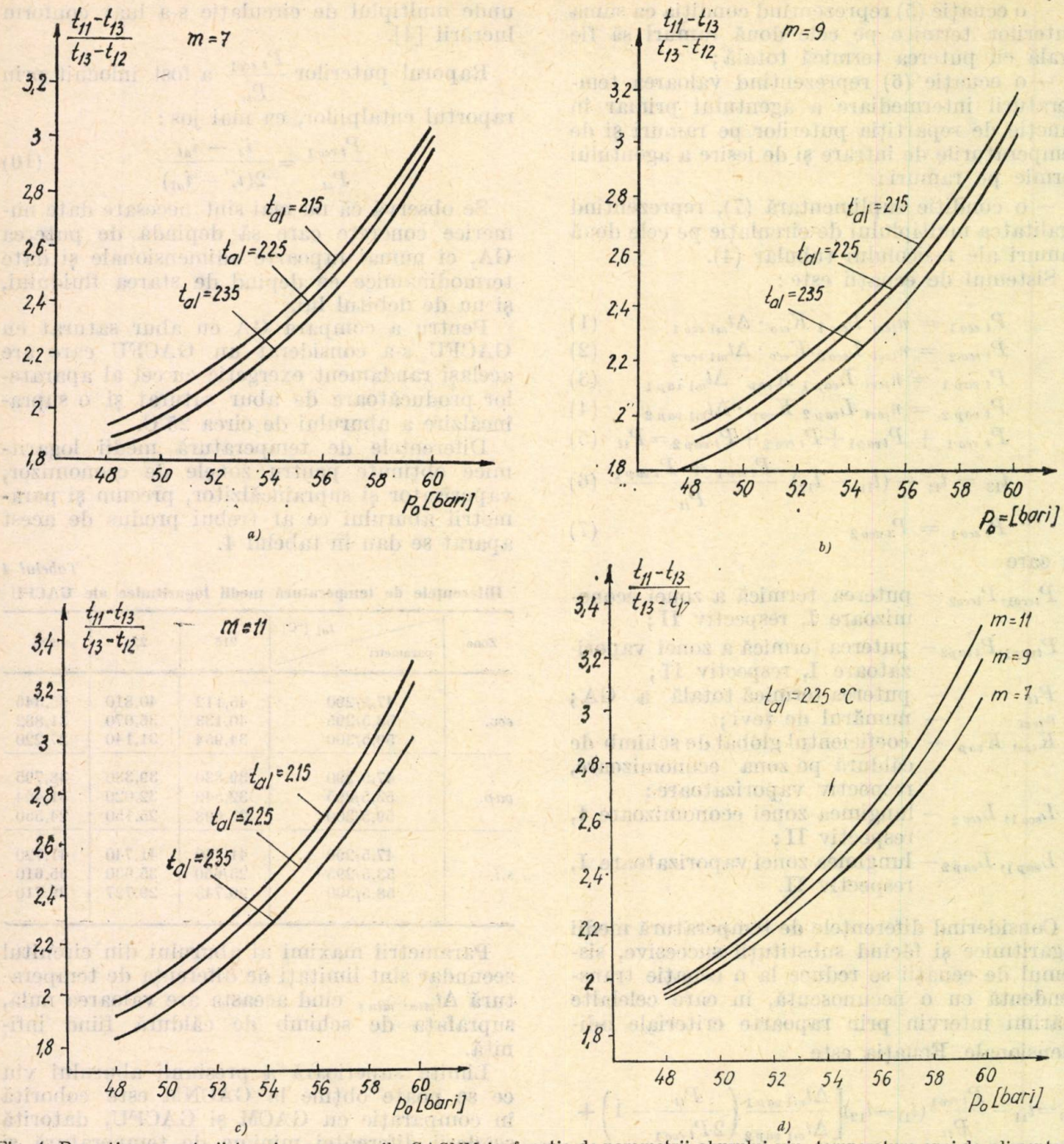


Fig. 4. Repartizarea puterii termice pe ramurile GACNM în funcție de parametrii aburului viu, temperatura apei de alimentare și multiplul de circulație, pentru temperaturi ale agentului primar de 320/285°C.

cu parametrii din circuitul primar impuși mai sus, este dată în figura 5.

Pentru GACFU și GACM se pot obține parametrii maximi indicați în tabelul 5.

Tabelul 5

Limita superioară a presiunii aburului viu ce poate fi produs în GACM și GACFU pentru parametrii agentului primar de 320/285°C, funcție de temperatura apei de alimentare

Tipul GA	GACM	GACFU	GACM	GACFU	GACM	GACFU
t_{al} [°C]	215	215	225	225	235	235
P_1 [bari]	76,90	75,40	76,00	74,50	75,10	73,50
t_1 [°C]	292,00	315,50	291,41	314,50	290,55	313,50

Se remarcă că GACM permite obținerea unor parametri mai ridicați ca GACFU și că mărirea temperaturii apei de alimentare duce la reducerea parametrilor ce se pot obține în circuitul secundar.

În vederea comparării mărimii suprafețelor de schimb de căldură a celor trei tipuri de GA, s-au efectuat calcule în unități relative, considerînd că suprafața GACM este egală cu unitatea și raportînd la aceasta suprafața GACNM

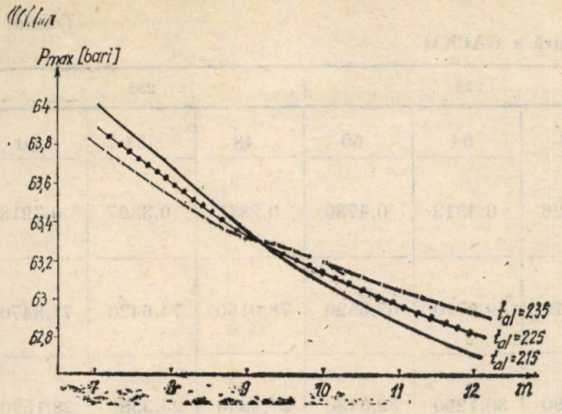


Fig. 5. Limita superioară a presiunii aburului viu ce poate fi produs de GACNM, cu datele tehnice considerate, în funcţie de multiplul de circulaţie şi temperatura apei de alimentare.

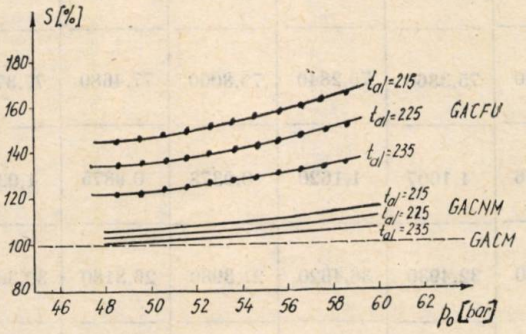


Fig. 6. Supradimensionarea suprafeţei de schimb de căldură a GACNM şi GACFU în funcţie de presiunea aburului viu şi temperatura apei de alimentare.

cu aceeaşi presiune a aburului viu şi pe aceea a GACFU cu acelaşi randament exergetic (tabelele 6, 7, 8 şi fig. 6).

Se observă că GACNM şi GACFU au în general suprafeţe mai mari ca GACM.

Supradimensionarea suprafeţei de schimb de căldură a GACNM, faţă de GACM, este cu atît mai mare cu cît presiunea aburului viu este mai ridicată şi temperatura apei de alimentare mai scăzută, ea fiind în general de pînă la 15%.

Supradimensionarea suprafeţei de schimb de căldură a GACFU, faţă de GACM, este mult mai mare (de ordinul a 35—65%). Ea creşte la mărirea parametrilor aburului viu şi scade la mărirea temperaturii de preîncălzire a apei.

Pe baza discuţiilor tehnico-economice de mai sus şi a rezultatelor calculelor numerice efectuate pe un număr mare de cazuri, se poate conchide că GACM oferă posibilitatea obţinerii celor mai înalţi parametri ai aburului în circuitul secundar pentru cea mai mică suprafaţă de schimb de căldură. De asemenea, acest tip de generator de abur permite evitarea fenomenelor negative apărute în exploatare, la legătura dintre ţevi şi placa tubulară, menţinînd avantajul GACNM de a putea efectua o purjă pentru apa cu săruri din generator.

În stadiul actual de dezvoltare a CNE de tip PWR şi PHWR, GACM apare deci ca tipul de generator de abur cel mai avantajos *).

Pentru CNE de tip PWR, o mărire a parametrilor în circuitul primar conduce la creşterea competitivităţii GACFU, iar în anumite situaţii, la presiuni scăzute ale agentului secundar şi temperaturi ridicate de preîncălzire a lui, poate să apară economic şi GACNM **).

Tabelul 6

Suprafaţa de schimb de căldură a GACM

t_{al} [°C]		215			225			235		
P_0 [bari]		48	54	60	48	54	60	48	54	60
$\frac{S^{GACM}_{eco.}}{S^{GACM}_{vap.}}$		0,4213	0,4653	0,4938	0,3644	0,4188	0,2956	0,2956	0,3633	0,4142
$\frac{S^{GACM}_{vap.}}{S^{GACM}_{eco.} + S^{GACM}_{vap.}}$	100%	70,356	68,245	66,953	73,289	70,48	68,624	77,183	73,35	70,712
$\frac{S^{GACM}_{eco.}}{S^{GACM}_{eco.} + S^{GACM}_{vap.}}$	100%	29,664	31,755	33,047	26,711	29,52	31,376	22,817	26,65	29,288

*) Pe plan mondial se observă o tendinţă de utilizare a GACM atît pentru filiera PHWR — CANDU, cît şi pentru filiera PWR (firmele Westinghouse, KWU, BBR ş.a.), majoritatea CNE din aceste filiere, aflate în construcţie sau anunţate pentru anii 1978—1980, fiind dotate cu GA de acest tip.

**) Alegerea definitivă a soluţiei de GA pentru fiecare SNPA se poate face numai în urma unui calcul tehnico-economic în care să se ţină seama de criteriile enunţate în lucrare, luate cu ponderea lor exactă în cheltuielile anuale de calcul.

Tabelul 7

Suprafața de schimb de căldură a GACNM

t_{al} [°C]	215			225			235		
P_0 [bari]	48	54	60	48	54	60	48	54	60
$\frac{S^{GACNM}_{eco.}}{S^{GACNM}_{vap.}}$	0,4536	0,5191	0,5613	0,3626	0,4312	0,4780	0,2817	0,3397	0,3918
$\frac{S^{GACNM}_{vap.}}{S^{GACNM}_{eco.} + S^{GACNM}_{vap.}} 100\,\%$	68,7920	65,8270	64,0480	73,3810	69,8710	67,6520	78,0160	74,6420	71,8470
$\frac{S^{GACNM}_{eco.}}{S^{GACNM}_{eco.} + S^{GACNM}_{vap.}} 100\,\%$	31,2080	34,1730	35,9520	26,6090	30,1290	32,3480	21,9840	25,3580	28,1530
$\frac{S^{GACNM}_{vap.}}{S^{GACM}_{vap.}}$	1,0548	1,0819	1,1266	1,0450	1,0696	1,1116	1,0339	1,0562	1,0942
$\frac{S^{GACNM}_{vap.}}{S^{GACM}_{vap.}} S^{GACM}_{vap.}$	74,2130	73,8374	75,4326	76,5920	75,3860	76,2840	79,8000	77,4680	77,3734
$\frac{S^{GACNM}_{eco.}}{S^{GACM}_{eco.}}$	1,1352	1,2066	1,2814	1,0396	1,1007	1,1620	0,9378	0,9875	1,03467
$\frac{S^{GACNM}_{eco.}}{S^{GACM}_{eco.}} S^{GACNM}_{eco.}$	33,6520	38,3162	42,3450	27,7700	32,4930	36,4620	21,3980	26,3180	30,3034
$S^{GACNM}_{eco.} + S^{GACNM}_{vap.}$	107,8650	112,1536	117,7780	104,3620	107,8790	112,7460	101,1980	103,7860	107,7720

Tabelul 8

Suprafața de schimb de căldură a GACFU

t_{al} [°C]	215			225			235		
P_0 [bari]/to [°C]	47,5/290	53,5/295	59,5/300	47,5/290	53,5/295	59,5/300	47,5/290	53,5/295	59,5/300
$\frac{S^{GACFU}_{eco,}}{S^{GACFU}_{vap.}}$	0,4184	0,4590	0,4836	0,3629	0,4141	0,4488	0,2964	0,3604	0,4075
$\frac{S^{GACFU}_{s.i.}}{S^{GACFU}_{vap.}}$	0,8538	0,8170	0,7734	0,8435	0,8044	0,7573	0,8324	0,7909	0,7397
$S^{GACFU}_{vap.} \cdot 100\,\%$	44,0109	43,9340	44,3405	45,3210	45,3275	46,9740	36,9740	46,4815	46,5700
$\frac{S^{GACFU}_{vap.}}{S^{GACM}_{vap.}}$	0,9055	0,9909	1,0980	0,8284	0,9042	0,9988	0,7470	0,8123	0,8937
$\frac{S^{GACFU}_{vap.}}{S^{GACM}_{vap.}} \cdot S^{GACM}_{vap.}$	63,7120	67,6250	73,5160	60,7187	63,7330	68,5430	57,6650	59,5877	63,2010
$\frac{S^{GACFU}_{eco.}}{S^{GACFU}_{vap.}} \cdot S^{GACFU}_{vap.}$	26,6540	31,0430	35,5560	22,0380	26,3940	30,7630	17,0920	21,4470	25,7580
$\frac{S^{GACFU}_{s.i.}}{S^{GACFU}_{vap.}} \cdot S^{GACFU}_{vap.}$	54,3970	55,2560	56,8600	51,2160	51,2730	51,9114	48,0020	47,1315	46,7500
$S^{GACFU}_{eco.} + S^{GACFU}_{vap.} + S^{GACFU}_{s.i.}$	144,7640	153,9250	165,9300	133,9720	141,3990	151,2170	122,7590	128,1960	135,7090

Bibliografie

[1] Alexe, Fl., Ceclan, M. și Donos, S. *Studii asupra formei reale a diagramei t — q la generatoarele de abur saturat din CNE tip PWR.* Sesiunea științifică ICPET, septembrie 1977.

[2] Pop, M. G. M. ș.a. *Considerații asupra dependenței dintre multiplul de circulație și putere, în construcția de generatoare de abur pentru CNE.* Sesiunea științifică jubiliară a Facultății de energetică, noiembrie 1975.

[3] Popa, B. ș.a. *Schimbătoare de căldură industriale.* Editura tehnică, București, 1975.

[4] Dănilă, N. *Centrale nucleare electrice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1973.

[5] Burducea, C. ș.a. *Centrale nuclearoelectrice de putere mare.* Editura tehnică, București, 1974.

(Articol intrat în redacție la 20 decembrie 1977)

Transferul de căldură în porțiunile drepte ale țevilor generatoarelor de abur pentru CNE cu reactoare PHWR

Dr. ing. **C. Haiduc***)

În porțiunile drepte ale țevilor generatoarelor de abur pentru reactoarele PHWR are loc procesul de convecție forțată de la apa grea la peretele țevilor. Regimul de curgere este în general turbulent și criteriul $Re > 10^4$.

Datorită acestui fapt, în lucrarea de față ne vom ocupa numai de ecuațiile criteriale, care permit determinarea coeficientului de transfer al căldurii în regim turbulent de curgere a apei grele. Avînd în vedere faptul că proprietățile termofizice ale apei grele sînt în general foarte apropiate de proprietățile termofizice ale apei, în literatura de specialitate se utilizează pentru determinarea criteriului Nu la apa grea aceleași ecuații criteriale ca și pentru apa obișnuită.

Principalele ecuații date în literatura de specialitate pentru determinarea transferului de căldură prin convecție la curgerea apei în țevi drepte în regim turbulent sînt date în tabelul 1. După cum rezultă din acest tabel, coeficienții din fața ecuațiilor sînt diferiți, cu excepția ecuațiilor lui M. A. Miheev și I. I. Novikov.

În aceste ecuații, mărimile notate cu indice f și w se referă, respectiv, la temperatura fluidului și a peretelui țevii. Mărimea d reprezintă diametrul țevii, iar x distanța de la capătul țevii pînă la porțiunea pe care se determină α.

În ecuațiile din tabelul 1 s-au folosit următoarele notații:

Criteriul Nusselt $$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} \quad (1)$$

Criteriul Reynolds $$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (2)$$

Criteriul Prandtl $$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (3)$$

unde

α reprezintă coeficientul de cedare a căldurii de la apa grea la peretele țevii, kcal/m².h.°C;

d — diametrul interior al țevilor generatorului de abur, m;

λ — coeficientul de conductibilitate termică a apei grele, kcal/m.h.°C;

w — viteza apei grele în țevile generatorului de abur, m/s;

ν — coeficientul de viscozitate cinematică a apei grele, m²/h;

a — coeficientul de conductibilitate a temperaturii pentru apa grea, m²/h.

Tabelul 1

Nr. crt.	Ecuația criterială	Agentul termic	Domeniul de valabilitate	Re	Autorul
1	$Nu_f = 0{,}021\ Re_f^{0,8}\ Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$	apă	țevi	$RE \geq 10^4$	M. A. Miheev [1]
2	$Nu_f = 0{,}0274\ C_x\ Re_f^{0,8}\ Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,11}$				
	$C_x = 1 + (2{,}76 - 0{,}44\ \lg Re_f) \times \left[\left(\frac{d}{x}\right)^{0,6} - \left(\frac{1}{16}\right)^{0,6}\right]$	apă	țevi	$2.10^4 \leq Re_f \leq 1{,}3 \cdot 10^5$	I. I. Novikov [2]
3	$Nu_f = 0{,}023\ Re_f^{0,8}\ Pr_f^{0,4}$	apă	țevi	$RE \geq 10^4$	Dittus-Boelter [1]
4	$Nu = 0{,}023\ Re_f^{0,8}\ Pr_f^{1/3}$	apă	țevi	$RE \geq 10^4$	Colburn [3]

Pe baza ecuațiilor date în tabelul 1 a fost întocmit un program de calcul pe calculatorul electronic cifric IBM-360 al Universității Bucu-

*) Dr. ing. Constantin Haiduc este cercetător științific principal la Institutul de cercetări și proiectări echipamente termoenergetice București.

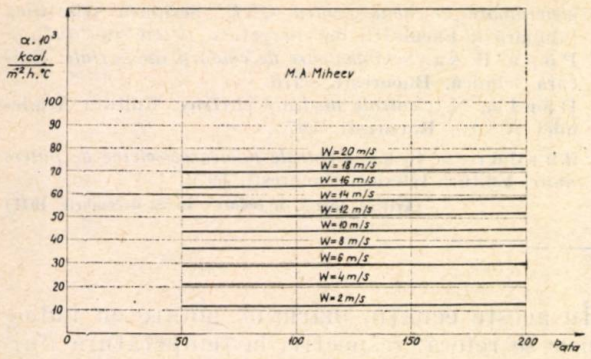


Fig. 1. Dependența dintre α și p pentru w = const. determinată cu ecuația lui M. A. Miheev.

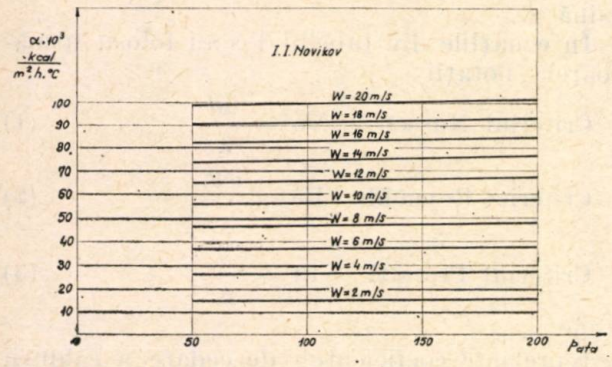


Fig. 2. Dependența dintre α și p pentru w = const. determinată cu ecuația lu I. I. Novikov.

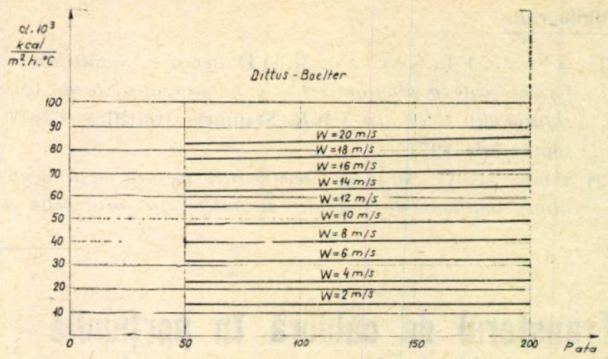


Fig. 3. Dependența dintre α și p pentru w = const. determinată cu ecuația lui Dittus-Boelter.

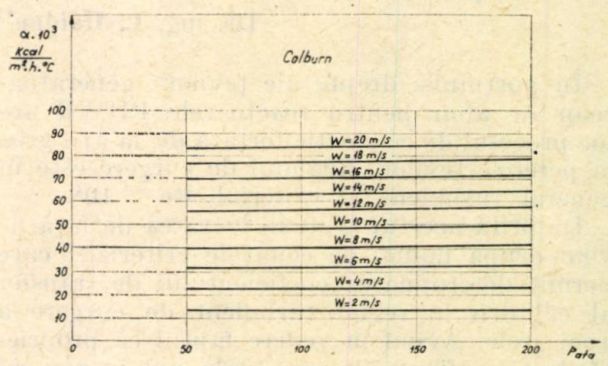


Fig. 4. Dependența dintre α și p pentru w = const. determinată cu ecuația lui Colburn.

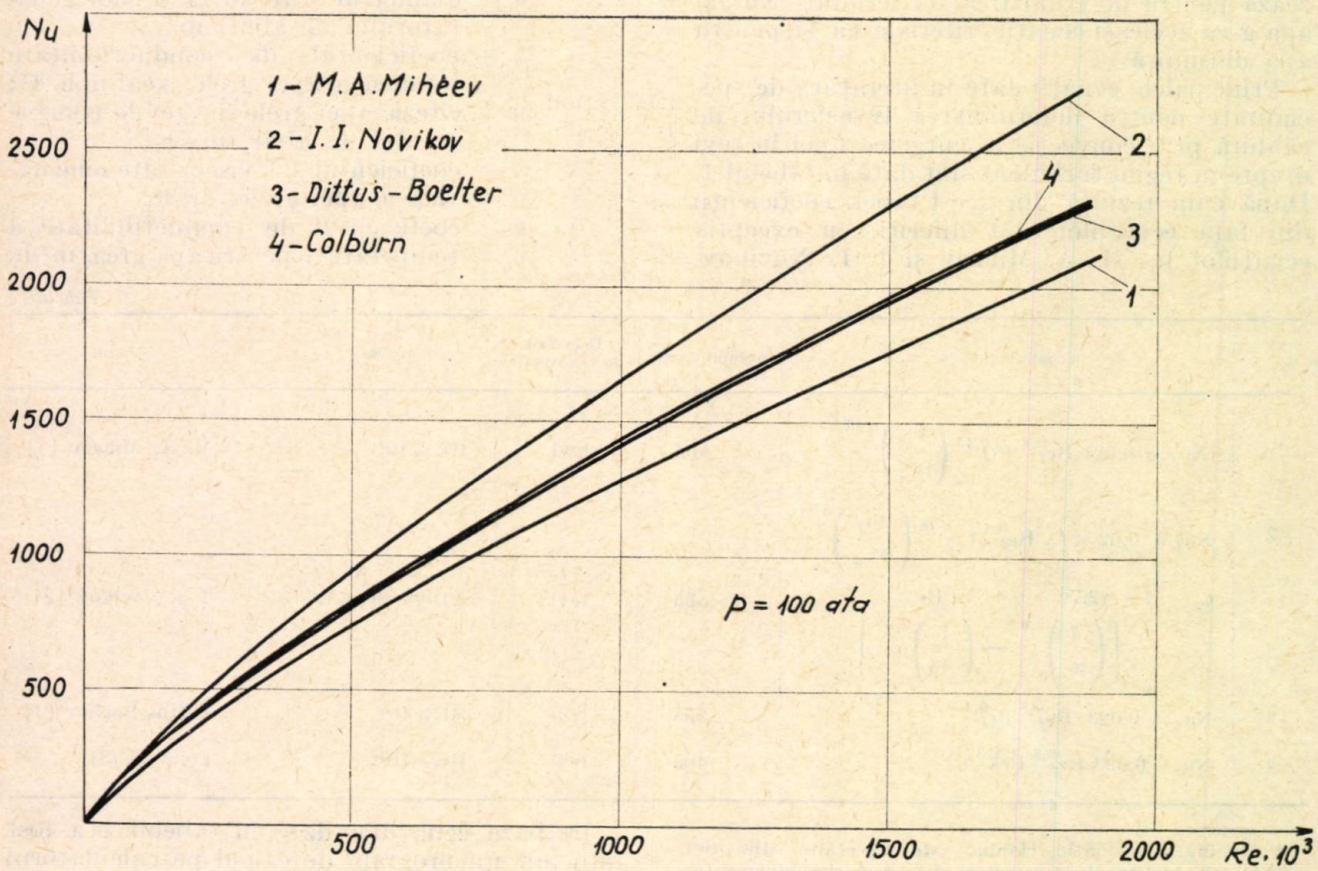


Fig. 5. Dependența dintre criteriul Nusselt și Reynolds pentru p = 100 at determinată prin cele patru metode studiate.

reşti pentru compararea celor patru ecuaţii de calcul pentru criteriul Nu. Pentru efectuarea calculelor s-a considerat o ţeavă de generator de abur cu diametrul interior $d = 0{,}013$ m şi $x = 1$ m. Viteza apei grele $w = 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20$ m/s. Presiunea apei grele în ţeavă a fost variată în domeniul $p = 50; 75; 100; 125; 150; 175; 200$ at, pentru a se obţine rezultate într-un domeniu cît mai larg de variaţie a presiunii.

Proprietăţile apei grele λ, a, ν au fost considerate pentru temperaturi ale peretelui ţevii $t_w = 260°C$ şi ale fluidului $t_f = 272{,}9°C$.

Pentru compararea rezultatelor obţinute prin diferite metode, în figurile 1, 2, 3, 4 se prezintă dependenţa $\alpha = f(p)$ pentru $w = \text{const}$. În figura 5 se prezintă dependenţa $\text{Nu} = f(\text{Re})$ pentru presiunea apei grele $p = 100$ at.

Din aceste rezultate reiese că ecuaţia lui M. A. Miheev dă valorile cele mai scăzute pentru α, iar ecuaţia lui I. I. Novikov valorile cele mai ridicate. Ecuaţiile lui Dittus—Boelter şi Colburn dau valori foarte apropiate şi se situează ceva mai jos de media rezultatelor obţinute cu ecuaţiile lui M. A. Miheev şi I. I. Novikov, în tot domeniul de presiuni studiate.

Din rezultatele obţinute rezultă că, pentru domeniul de presiuni studiat, criteriul Nu practic nu depinde de presiunea apei grele din ţevi. Din această cauză, în figura 5 se prezintă numai valori medii ale lui Nu, în funcţie de criteriul Re, pentru cele patru metode luate în consideraţie.

Dintre ecuaţiile comparate, cele mai utilizate în calcule sînt ecuaţiile lui Dittus—Boelter şi Colburn.

Concluzii

1. Coeficientul de cedare a căldurii prin convecţie de la apa grea la peretele ţevilor drepte ale generatoarelor de abur în regim turbulent monofazic este foarte puţin influenţat de presiunea agentului termic.

2. Ecuaţiile lui Dittus—Boelter şi Colburn dau, pentru coeficientul de cedare a căldurii α, valori foarte apropiate, care se situează ceva mai jos de media rezultatelor obţinute cu ecuaţiile lui M. A. Miheev şi I. I. Novikov în tot domeniul de presiuni studiat.

3. Recomandăm, pe baza rezultatelor prezentate mai sus, utilizarea ecuaţiilor Dittus—Boelter şi Colburn pentru calculul coeficientului de cedare a căldurii α de la apa grea la pereţii ţevilor drepte ale generatoarelor de abur pentru CNE cu reactoare PHWR.

Bibliografie

[1] Miheev M. A. *Osnovi teploperedaci.* Gosenergoizdat, 1949.

[2] Novikov I. I. şi Voskresenski, K. D. *Prikladnaia termodinamika i teploperedaciia.* Moscova, 1961.

[3] Bonilla, Ch. F. *Voprosi teploperedaci v iadernoi tehnike.* Moscova, 1961.

(Articol intrat în redacţie la 20 februarie 1978)

Analiza vulnerabilităţii sistemelor electroenergetice utilizînd un concept de sinteză topologică

Dr. ing. **S. Darie**
şi ing. **Gh. Nagy Baka***)

Consideraţii generale

Odată cu utilizarea calculatoarelor în timp real în analiza reţelelor electrice au apărut noi concepte şi metode de investigaţie.

Un astfel de nou concept în analiza şi practica reţelelor electrice îl constituie „estimatorul de stare".

Estimatorul de stare reprezintă un algoritm de prelucrare a informaţiilor colectate în timp real din procesul de producere şi transport al energiei electrice şi care furnizează o apreciere a stării actuale a sistemului electroenergetic. Estimatorul de stare reprezintă un domeniu interdisciplinar al unor discipline ca: metode numerice, teoria erorilor, statistică matematică, transmiterea la distanţă a informaţiilor, teoria reţelelor şi sistemelor electroenergetice etc.

Printre alte funcţiuni, estimatorul de stare în combinaţie cu un algoritm de calcul al regimurilor staţionare realizează o supraveghere în timp real a sistemului şi o apreciere sistemică a siguranţei de funcţionare pentru o configuraţie topologică dată, precum şi pentru cazul unei modificări de configuraţie a sistemului — analiza vulnerabilităţii / contingenţelor [2].

Analiza vulnerabilităţii constituie una dintre cele mai importante utilizări ale estimatorului de stare şi constă în analiza sistemică a efectelor incidentelor sau manevrelor în reţeaua de transport.

Analiza vulnerabilităţii se referă la o serie de funcţiuni, ca:

a) verificarea periodică a rezervei de putere;

* Dr. ing. Silviu Darie este şef de lucrări la Institutul politehnic Cluj-Napoca, Facultatea de electrotehnică; ing. Nagy Baka Gheorghe este cercetător la Institutul pentru tehnică de calcul.

b) verificarea periodică a circulaţiilor de putere, tensiunilor nodale etc.;

c) verificarea la cerere a condiţiilor de efectuare a unor manevre, ca secţionări, conectări, buclări, debuclări.

Soluţionarea problemei expuse se poate face prin:

1. Metode exacte; în acest caz efectul fiecărui incident este determinat cu ajutorul unui calcul exact în complex. Aceasta impune utilizarea unor calculatoare de mare viteză pentru a putea răspunde constrîngerilor de timp specifice funcţionării în timp real.

2. Metode aproximative, care au un caracter orientativ, cum ar fi: calcule simplificate de regim [4], metoda coeficienţilor de repartiţie [3], metode nodale cu utilizarea matricei Z [5], [6].

În cadrul activităţii operative de dispecer apar frecvent următoarele tipuri de manevre:

— deconectarea unei linii sau deconectarea succesivă a mai multor linii;

— conectarea unei linii;

— modificarea injecţiilor de putere în noduri.

În momentul de faţă dispecerul naţional posedă următoarele informaţii [7]:

— topologia reţelei;

— puterile injectate în noduri;

— circulaţiile de putere pe linii;

— modulele tensiunii în noduri.

În aceste condiţii se pune problema de a găsi nişte indicatori care să dea dispecerului de tură o privire de ansamblu asupra comportării sistemului în urma efectuării unor manevre [8].

2. Formularea modelului matematic al indicatorilor de manevră

Se consideră o reţea R cu $n+1$ noduri şi 1 laturi la care se ataşează ecuaţia:

$$V_n = Z_{nn} \cdot I_n \tag{1}$$

Funcţionarea reţelei s-a scris pe baza matricei de impedanţă nodală Z_{nn}, datorită proprietăţilor numerice pe care le are aceasta de a avea digraful puternic conex, proprietate ce se reflectă în matricea Z_{nn} prin influenţa fiecărui nod asupra tuturor celorlalte noduri şi reciproc. Din această cauză, matricea Z_{nn} se mai numeşte şi „funcţie de transfer".

Ca urmare a modificării topologiei reţelei, de exemplu deconectarea unei linii $p-q$, noua matrice ataşată reţelei, Z'_{nn}, se calculează prin sinteză topologică [8]. Efectul deconectării liniei $p-q$ se ia în considerare printr-o injecţie suplimentară de curent ΔI [9]:

$$\begin{aligned} V_n &= Z'_{nn} \cdot \Delta I, = \\ &= Z'_{nn} \cdot C_{p-q} \cdot I_{p-q} \\ &= [Z'_p - Z'_q] \cdot I_{p-q}, \end{aligned} \tag{2}$$

în care

Z'_p, Z'_q sînt coloana p, respectiv q din matricea Z'_{nn};

I_{p-q} — curentul din linia $p-q$, ce urmează a se deconecta;

C_{p-q} — matricea de incidenţă a nodurilor cu latura $p-q$, ce urmează a se deconecta.

Utilizarea formulei (2) necesită recalcularea matricei Z'_{nn} prin sinteză, care conduce la un volum mare de calcul. Relaţia (2) este identică cu:

$$\Delta V_n = [Z_p - Z_q] * \frac{z_{p-q}}{z_{p-q} - \mathscr{Z}_{pq,\,pq}} * I_{p-q}, \tag{3}$$

în care

Z_p, Z_q sînt coloanele p, respectiv q din matricea Z;

z_{p-q} — impedanţa laturii $p-q$, ce urmează a se deconecta;

$\mathscr{Z}_{pq,\,pq}$ — termenul diagonal din matricea de transfer cvadripolară [4].

În aceste condiţii, variaţia tensiunii pe latura $k-l$, la deschiderea laturii $p-q$ este:

$$\begin{aligned} \Delta V_{k-l} &= [(Z_{kp} - Z_{kq}) - (Z_{lp} - Z_{lq})] * \\ &* \frac{z_{p-q}}{z_{p-q} - \mathscr{Z}_{pq,pq}} * I_{p-q} = \\ &= \frac{(Z_{kp} - Z_{kq}) - (Z_{lp} - Z_{lq})}{z_{p-q} - \mathscr{Z}_{pq,pq}} \cdot V_{p-q} = \xi^{p-q}_{k-l} \cdot V_{p-q} \end{aligned} \tag{4}$$

cu notaţia:

$$\xi^{p-q}_{k-l} = \frac{(Z_{kp} - Z_{kq}) - (Z_{lp} - Z_{lq})}{z_{p-q} - \mathscr{Z}_{pq,pq}} = \frac{\Delta V_{k-l}}{V_{p-q}}, \tag{5}$$

care s-a numit „indicator al şocului de tensiune" [8].

Variaţia curentului pe linia $k-l$, la deconectarea liniei $p-q$ este:

$$\begin{aligned} \Delta I_{k-l} &= \frac{\Delta V_{k-l}}{z_{k-l}} = \frac{\xi^{p-q}_{k-l} \cdot V_{p-q}}{z_{k-l}} = \\ &= \frac{\xi^{p-q}_{k-l} \cdot z_{p-q} \cdot I_{p-q}}{z_{k-l}} = \lambda^{p-q}_{k-l} \cdot I_{p-q} \end{aligned} \tag{6}$$

cu notaţia:

$$\lambda^{p-q}_{k-l} = \xi^{p-q}_{k-l} \cdot \frac{z_{p-q}}{z_{k-l}} = \frac{\Delta I_{k-l}}{I_{p-q}}, \tag{7}$$

coeficient care s-a denumit „indicator al şocului de curent" [8].

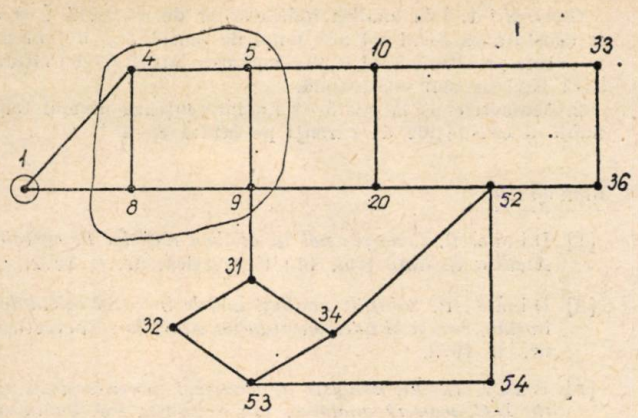


Fig. 1. Graful reţelei iniţiale.

În condiţiile în care se operează pe o reţea electrică raportată la un anumit nivel de tensiune V, se mai poate scrie:

$$V \cdot \Delta I_{k-l} = V \cdot \lambda_{k-l}^{p-q} \cdot I_{p-q} = \lambda_{k-l}^{p-q} \cdot S_{p-q} \quad (8)$$

$$\text{sau } \lambda_{k-l}^{p-q} = \frac{\Delta S_{k-l}}{S_{p-q}},$$

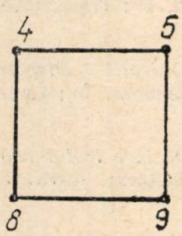


Fig. 2. Graful reţelei reduse.

coeficient care s-a denumit indicator al „şocului de putere" pe linia $k - l$ la deconectarea liniei $p - q$ [8].

Observaţii

1. Indicatorii de manevră sînt nişte indicatori sintetici ai consecinţelor modificărilor de structură topologică a reţelei.
2. Indicatorii de manevră sînt independenţi de regimul de funcţionare; ei sînt funcţie de caracteristicile topologice şi de material ale reţelei.
3. Indicatorii de manevră definiţi dau o imagine sintetică dispecerului la efectuarea manevrelor şi deciziilor în sistem.

3. Utilizarea metodelor de sinteză la determinarea indicatorilor de manevră

Din mulţimea nodurilor reţelei n se reţin numai nodurile aflate în supravegherea dispecerului, n_r, $n_r < n$, noduri care delimitează laturile în supraveghere.

Pentru nodurile în supraveghere se construieşte matricea redusă de impedanţă nodală, direct, folosind tehnica de sinteză topologică şi conceptul constructiv-eliminatoriu [10].

Din termenii matricei reduse de impedanţă nodală şi caracteristicile de material ale laturilor reţelei în supraveghere se calculează indicatorii de manevră cu relaţiile (5), (7). Pe baza acestor indicaţii s-a întocmit programul de calcul pentru calculatorul FELIX C—256.

Programul de calcul construieşte direct echivalentul redus de sistem pe baza matricei de impedanţă nodală la nodurile aflate în supraveghere şi calculează indicatorii de manevră pentru toate combinaţiile posibile dintre laturile în supraveghere şi laturile probabile în manevră.

Domeniul de utilizare a programului de calcul:

1. Analiza operativă şi sistemică a efectelor incidentelor sau manevrelor în reţeaua de transport, de unde rezultă că aceştia sînt indicatori sintetici în aprecierea siguranţei în funcţionare, în urma efectuării manevrelor sau a unor eventuale incidente.
2. Mărimi de comandă în calculatoarele de proces utilizate în timp real.

Concluzii

Lucrarea prezintă o aplicaţie a matricei Z_{nn} — analiza vulnerabilităţii sistemelor electrice, nou concept de analiză sistematică a efectelor manevrelor sau incidentelor în sistem.

Se definesc şi se formulează modelul matematic al indicatorilor de manevră, indicatori sintetici pentru aprecierea sistemică a siguranţei în funcţionare la efectuarea manevrelor.

Indicatorii definiţi sînt independenţi de regimul de funcţionare şi pot fi folosiţi ca mărimi de comandă, în calculatoarele de proces utilizate în timp real.

Algoritmul de calcul foloseşte tehnica de sinteză şi conceptul constructiv eliminatoriu; în felul acesta, algoritmul permite o mare economie de memorie în calculator.

ANEXĂ

Aplicaţie

Pentru a exemplifica algoritmul şi programul propus, s-a ales o reţea cu 15 noduri şi 21 laturi (fig. 1); nodul 1 se alege drept nod de referinţă.

Se cere echivalentul redus de impedanţă nodală la nodurile 4, 8, 5, 9 — noduri în supraveghere şi analiza vulnerabilităţii acestei reţele reduse.

În tabelul 1 sînt date caracteristicile de material ale reţelei.

Tabelul 1

Linia	Impedanţa laturii (Ω)
1—4	30,000
1—8	42,000
4—5	51,000
4—8	13,000
8—9	8,000
5—9	9,000
5—10	6,000
9—20	14,000
9—31	41,000
10—33	16,000
10—20	20,000
20—52	19,000
31—32	35,000
31—34	73,000
33—36	1,000
52—34	5,000
52—36	18,000
52—54	10,000
32—53	62,000
34—53	84,000
54—53	6,000

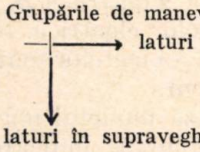
Algoritmul propus calculează direct, utilizînd tehnica de sinteză şi conceptul constructiv-eliminatoriu, matricea redusă de impedanţă nodală la nodurile în supraveghere, precum şi indicatorii de manevră pentru toate grupările posibile de manevre în reţeaua în supraveghere.

$Z_{red} =$

	4	8	5	9
4	19,138	15,206	16,100	15,683
8	15,206	20,711	15,460	20,044
5	16,100	15,460	30,285	25,235
9	15,683	20,044	25,235	26,546

Analiza vulnerabilităţii

1. Grupările de manevre:



5—4, 5—4 8—9, 5—4 8—4, 5—4 5—9, 5—4
5—4, 8—9 8—9, 8—9 8—4, 8—9 5—9, 8—9
5—4, 8—4 8—9, 8—4 8—4, 8—4 5—9, 8—4
5—4, 5—9 8—9, 5—9 8—4, 5—9 5—9, 5—9

2. Grupul de coeficienţi ξ — „indicatori ai şocului de tensiune":

—	—29,791	—0,146	1,755
12,344	—	—0,771	9,835
14,272	1,376	—	—0,378
19,211	1,576	0,000	—

3. Grupul de coficienţi λ — „indicatori ai şocului de curent":

—	—4,673	—0,037	0,309
78,695	—	—1,253	11,064
55,990	0,847	—	—0,262
108,862	1,401	0,000	—

Observaţii 1. Din analiza indicatorilor de manevră ξ şi λ se constată că şocul cel mai mare de tensiune şi de curent se obţine pe latura 5—4 la deconectarea laturii 5—9; latura 5—4 este cea mai vulnerabilă.

2. Manevrele pe latura 5—9 nu influenţează nivelul tensiunii şi circulaţiile de curenţi pe latura 8—4.

Bibliografie

[1] Dimo, P. *Concepte noi în analiza reţelelor de energie. Analiza în timp real.* În: Energetica, nr. 5, 1972.

[2] Dimo, P. *Soluţiile analizei nodale în cazul calculului în timp real şi al interconexiunilor vaste.* În: Energetica, nr. 8, 1972.

[3] Racz, L. *An analysis of electrical power systems on the D.C. network analyser.* În: Periodica Polytechnica, El. Eng. nr. 3, 1962.

[4] Auge, M. *La matrice des impedances de transfert d'un réseau et ses applications.* În: Bull. Soc. Fr. Electriciens, nr. 16, 1961.

[5] Brown, H. E. ş.a. *Contingencies evaluated by Z-matrix method.* În: Trans. PAS nr. 4, 1969.

[6] Brown, H. E. ş.a. *Interchange capability and contingency evaluation by a Z-matrix method.* În: Trans. PAS, nr. 5, 1972.

[7] Boboc, A. ş.a. *Reţeaua de telecomunicaţii a Dispeceratului energetic naţional din R. S. România.* În: Energetica, nr. 8, 1967.

[8] Darie, S. *Metode de sinteză folosite la calculul regimurilor sistemelor electrice.* Teză de doctorat. Institutul politehnic Bucureşti, 1974.

[9] Laughton, M. A. ş.a. *Numerical techniques in solution of power system load-flow problems.* În: Proc. IEE, 111, nr. 9, 1964.

[10] Darie, S. şi Nagy, Gh. *Utilizarea metodelor de sinteză pentru determinarea echivalenţilor reduşi de sistem.* În: Energetica, nr. 7—8, 1975.

(Articol intrat în redacţie la 28 ianuarie 1977)

Modelele şi parametrii maşinii sincrone

Dr. ing. **E. Potolea***)

PARTEA A II-a — MODELE PENTRU CALCULUL REGIMURILOR

Modelele d, q, f şi d, q, prezentate în partea I, star putea utiliza la calculul regimurilor cvasis-aţionare şi cvasisinusoidale dacă s-ar accepta metoda operaţională de calcul. Avînd în vedere utilizarea metodei variabilelor de stare la calculul regimurilor tranzitorii din sistemele electroenergetice automatizate, se impune elaborarea unor modele adecvate pentru maşina sincronă.

În cele ce urmează se propun două modele pentru calculul regimurilor tranzitorii cu ajutorul variabilelor de stare: modelul d, q pentru calculul regimului cvasisinusoidal şi modelul d, q (f, D, Q) pentru calculul regimului cvasistaţionar.

Ultimul model este cunoscut în literatura de specialitate sub numele de model cu parametri relativi. Parametrii relativi ai modelului d, q (f, D, Q) se calculează în funcţie de parametrii modelului d, q, admiţînd o succesiune de aproximaţii nejustificate. Aceste aproximaţii au fost verificate cu ajutorul relaţiilor exacte stabilite de autor şi s-au obţinut rezultate surprinzătoare.

5. Regimul cvasisinusoidal

Regimul cvasisinusoidal se calculează cu ajutorul modelului q, d, admiţînd aceleaşi aproximaţii care au fost admise şi la identificarea experimentală a operatorilor $L_d(p)$, $L_q(p)$.

În ecuaţiile (2) se admite aproximaţia $\omega \simeq \omega_0$ şi se neglijează tensiunile electromotoare induse prin transformare ($d\Phi_d/dt$, $d\Phi_q/dt$) faţă de ten-

*) Dr. ing. Eugen Potolea este profesor la Institutul politehnic Bucureşti.

siunile electromotoare induse prin rotaţia ($\omega_0 \Phi_q$, $\omega_0 \Phi_d$).

$$\begin{aligned} V_d + RI_d &= \omega_0 \Phi_q \\ V_q + R\, I_q &= -\omega_0 \Phi_d \end{aligned} \tag{45}$$

Ecuaţiile (45) sînt analoage cu cele din regimul permanent sinusoidal (7), însă variabilele de stare din (45) nu sînt staţionare. Ca urmare, variabilele de stare ale circuitelor a, b, c sînt sinusoidale, însă au valorile efective variabile. Regimul din circuitele a, b, c se poate numi regim cvasisinusoidal.

În ecuaţiile (45) se neglijează RI_d, RI_q faţă de V_d, V_q şi se obţin ecuaţiile (25), care au fost utilizate la identificarea operatorilor modelului q, d. Introducînd (23) în (25), se obţin ecuaţiile operaţionale pentru calculul regimului cvasisinusoidal:

$$\begin{aligned} \Delta V_d &= X_q(p)\, \Delta I_q \\ \Delta V_q &= -X_d(p)\, \Delta I_d + \omega_0\, T_{df}(p)\, \Delta V_f \end{aligned} \tag{46}$$

Regimul cvasisinusoidal din circuitele a, b, c se calculează cu ajutorul fazorilor staţionari la fel ca în regim permanent sinusoidal. Se scriu ecuaţiile circuitelor d, q cu ajutorul unor variabile auxiliare E''_d, E''_f, numite tensiuni electromotoare din spatele reactanţelor subtranzitorii X''_q, X''_d:

$$\begin{aligned} V_d &= X''_q\, I_q + E''_d \\ V_q &= -X''_d\, I_d + E''_f \end{aligned} \tag{47}$$

Procedînd la fel ca la paragraful 1, se obţin din (47) ecuaţii analoage cu (12):

$$\begin{aligned} \underline{V} + jX''_q\, \underline{I} &= (E''_q - j\, E''_d)\, e^{(\delta+\theta)} \\ E''_q &= \frac{X''_q}{X''_d}\, E''_f + \frac{X''_d - X''_q}{X''_d}\, V \cos\delta \end{aligned} \tag{48}$$

Variabilele auxiliare E''_d, E''_f satisfac ecuaţii operaţionale, care se obţin din (46) şi (47) prin eliminarea sau a curenţilor ΔI_q, ΔI_d sau a tensiunilor ΔV_d, ΔV_q. Avînd în vedere calculul regimurilor din reţeaua electroenergetică cu metoda tensiunilor nodale, se elimină curenţii din (46), (47) şi se obţine:

$$\begin{aligned} \Delta E''_d &= \frac{X_q(p) - X''_q}{X_q(p)}\, \Delta V_d \\ \Delta E''_f &= \frac{X_d(p) - X''_d}{X_d(p)}\, \Delta V_q + \\ &+ \omega_0 T_{df}(p)\, \frac{X''_d}{X_d(p)}\, \Delta V_f \end{aligned} \tag{49}$$

Se exprimă operatorii cu relaţiile (24) şi se transformă ecuaţiile operaţionale (49) în ecuaţii diferenţiale de ordinul întîi şi de formă canonică (anexa 2):

$$\begin{aligned} \left(1 + T''_q \frac{d}{dt}\right) E''_d &= \left(1 - \frac{X''_q}{X_q}\right) V \sin\delta \\ \left(1 + T'_d \frac{d}{dt}\right) E'_f &= \left(D - \frac{X''_d}{X_d}\right) V \cos\delta + \\ &+ \left(1 - \frac{T'_{df}}{T'_d}\right) \frac{X''_d}{X_d}\, E_f \\ \left(1 + T''_d \frac{d}{dt}\right) E''_f &= (1 - D)\, V \cos\delta + \\ &+ E'_f + \frac{T'_{df}}{T'_d} \frac{X''_d}{X_d}\, E_f, \end{aligned} \tag{50}$$

unde

$$D = \frac{X''_d}{X'} \left[1 - \frac{T''_d}{T'_d}\left(1 - \frac{X'}{X_d}\right)\right] \tag{51}$$

şi

$$\Delta E_f = \frac{X_{df}}{R_f}\, \Delta V_f = \frac{X_{df}}{R_f}\, Y(p)\, \Delta V \tag{52}$$

Ecuaţiile (50) se completează cu ecuaţiile diferenţiale obţinute din relaţia (52), în care $Y(p)$ este funcţia de transfer a regulatorului automat de tensiune.

În ultimele ecuaţii din (50) se pot neglija ultimii termeni ($T'_{df} \simeq 0$), admiţînd astfel aproximaţii sub 1% la calculul variabilelor E'_f, E''_f.

Exemplu numeric. Cu datele din tabelele 1, 2, 3 se calculează coeficienţii din ultimele ecuaţii (50):

$$\left(1 + T'_d \frac{d}{dt}\right) E'_f = 0{,}572\ V \cos\delta + 0{,}1050\ E_f$$

$$\left(1 + T''_d \frac{d}{dt}\right) E''_f = 0{,}325\ V \cos\delta + E'_f - 0{,}0023\ E_f$$

Dacă se admite aproximaţia $T'_{df} \simeq 0$, se obţine:

$$\left(1 + T'_d \frac{d}{dt}\right) E'_f = 0{,}572\ V \cos\delta + 0{,}1027\ E_f$$

$$\left(1 + T''_d \frac{d}{dt}\right) E''_f = 0{,}325\ V \cos\delta + E'_f$$

Se dau valorile iniţiale relative $V_0 = 1$ şi $E_{f0} = 3$ şi unghiul $\delta_0 = 30°$. În ecuaţiile (50) se anulează derivatele şi se calculează valorile iniţiale E'_{f0}, E''_{f0} în două variante:

– varianta exactă

$$E'_{f0} = 0{,}495 + 0{,}315 = 0{,}81$$

$$E''_{f0} = 0{,}281 + 0{,}81 - 0{,}007 = 1{,}098$$

— varianta aproximativă $T'_{df} \simeq 0$:

$$E'_{f0} = 0{,}495 + 0{,}308 = 0{,}803$$

$$E''_{f0} = 0{,}281 + 0{,}81 = 1{,}091$$

Valorile aproximative pentru E'_{f0}, E''_{f0} sînt mai mici cu circa (0,87 ~ 0,64)% față de valorile exacte. În consecință, aproximația $T'_{df} \simeq 0$ este admisibilă la calculul regimului cvasisinusoidal cu ajutorul modelului propus.

6. Calculul regimului cvasistaționar

Regimul cvasistaționar se calculează fără a admite aproximații asupra variabilelor ($\omega \simeq \omega_0$) sau asupra parametrilor ($R \simeq 0$). Se poate utiliza modelul operațional d, q, f sau un alt model d, q (f, D, Q), care este adecvat metodelor numerice de rezolvare a ecuațiilor diferențiale ale variabilelor de stare.

Modelul d, q (f, D, Q) se obține din modelul d, q, f, D, Q, prin efectuarea unor schimbări de variabile pentru înfășurările rotorice:

$$\begin{aligned} I_Q &= \frac{m_{mq}}{M_{qQ}}\, i_Q \;;\quad \varphi_Q = \frac{m_{mq}}{M_{qQ}}\, \Phi_Q \\ I_D &= \frac{m_{md}}{M_{dD}}\, i_D \;;\quad \varphi_D = \frac{m_{md}}{M_{dD}}\, \Phi_D \\ I_f &= \frac{m_{md}}{M_{df}}\, i_f \;;\quad \varphi_f = \frac{m_{md}}{M_{df}}\, \Phi_f \\ v_f &= \frac{m_{md}}{M_{df}}\, V_f \end{aligned} \tag{53}$$

unde

$$m_{mq} = \text{arbitrar} \;;\quad m_{md} = \frac{M_{df}\, M_{dD}}{M_{fD}} \tag{54}$$

Cu relațiile (53) se obține din (5), (4), (3):

$$\begin{aligned} \Phi_q &= L_q\, I_q - m_{mq}\, i_Q \\ \varphi_Q &= -\, m_{mq}\, I_q + l_Q\, i_Q \end{aligned} \tag{55}$$

și

$$\begin{aligned} \Phi_d &= L_d\, I_d - m_{md}\, i_f - m_{md}\, i_D \\ \varphi_f &= -\, m_{md}\, I_d + l_f\, i_f + m_{md}\, i_D \\ \varphi_D &= -\, m_{md}\, I_d + m_{md}\, i_f + l_D\, i_D \end{aligned} \tag{56}$$

și

$$\begin{aligned} -\, v_f + r_f\, i_f &= -\frac{d\varphi_f}{dt} \\ r_D\, i_D &= -\frac{d\varphi_D}{dt} \\ r_Q\, i_Q &= -\frac{d\varphi_Q}{dt} \end{aligned} \tag{57}$$

unde

$$l_f = L_f \left(\frac{m_{md}}{M_{df}}\right)^2 \;;\quad r_f = R_f \left(\frac{m_{md}}{M_{df}}\right)^2 \tag{58}$$

Se pot scrie relații analoage cu (58) pentru a exprima parametrii l_D, r_D și l_Q, r_Q în funcție de cei naturali L_D, R_D, M_{dD} și L_Q, R_Q, M_{qQ}. Aceste relații nu prezintă interes practic deoarece parametrii naturali rămîn nedeterminați.

Ecuațiile originare (2) împreună cu ecuațiile transformate (55), (56), (57) formează modelul d, q (f, D, Q). Folosind ecuațiile algebrice (55) și (56), se elimină fie fluxurile, fie curenții din ecuațiile diferențiale (2) și (57). Se obțin astfel cinci ecuații diferențiale de ordinul întîi, care se rezolvă cu ajutorul unei metode numerice. În final se pot calcula toate variabilele auxiliare din (53), dar nu se pot calcula variabilele naturale ale înfășurărilor Q, D, deoarece inductivitățile M_{qQ}, M_{dD} rămîn nedeterminate.

Parametrii notați cu caractere minuscule m_{mq}, l_Q, r_Q și m_{md}, l_D, r_D, l_f, r_f au rolul de parametri tranzitorii ai modelului d, q (f, D, Q) și se calculează în funcție de parametrii modelului d, q, f.

Procedînd la fel ca la paragraful 3, se elimină variabilele de stare ale înfășurărilor f, D, Q și se obțin ecuațiile operaționale (23). Operatorii (24) sînt invarianți față de transformarea (53), astfel că se pot scrie relațiile (A.4) și (A.5) pentru parametrii modelului d, q(f, D, Q):

$$\begin{aligned} T_Q &= \frac{l_Q}{r_Q} \;;\quad T'_Q = T_Q \left(1 - \frac{m_{mq}^2}{L_q\, l_Q}\right) \\ T_D &= \frac{l_D}{r_D} \;;\quad T'_D = T_D \left(1 - \frac{m_{md}^2}{L_d\, l_D}\right) \\ T_f &= \frac{l_f}{r_f} \;;\quad T'_f = T_f \left(1 - \frac{m_{md}^2}{L_d\, l_f}\right) \\ T'_{df} &= T_D \left(1 - \frac{m_{md}}{l_D}\right) \end{aligned} \tag{59}$$

Pentru axa q se alege arbitrar $x_{mq} = \omega_0\, m_{mq}$ și se calculează:

$$x_Q = \frac{x_{mq}^2}{X_q} \frac{T_Q}{T_Q - T'_Q} \;;\quad r_Q = \frac{x_Q}{\omega_0\, T_Q} \tag{60}$$

Pentru axa d se notează $x_{md} = \omega_0\, m_{md}$ și se calculează:

$$x_{md} = X_d \frac{T_D - T'_D}{T_D - T'_{df}} \tag{61}$$

$$x_f = \frac{x_{md}^2}{X_d} \frac{T_f}{T_f - T'_f} \;;\quad r_f = \frac{x_f}{\omega_0\, T_f}$$

$$x_D = \frac{x_{md}^2}{X_d} \frac{T_D}{T_D - T'_D} \;;\quad r_D = \frac{x_D}{\omega_0\, T_D}$$

După determinarea parametrilor din (61) se pot utiliza relaţiile (58) pentru a calcula L_f şi pentru a verifica R_f. Sînt disponibile încă două relaţii de control, care se obţin din (A.7) şi (A.8):

$$T'_{d0}\,T''_{d0} = T_f T_D\left(1 - \frac{x^2_{md}}{x_f\,x_D}\right)$$

$$T'_d\,T''_d = T'_f\,T'_D - \qquad (62)$$

$$- T_f\,T_D\,\frac{x^2_{md}}{x_f\,x_D}\left(1 - \frac{x_{md}}{X_d}\right)^2$$

Schimbarea de variabile (53) a permis obţinerea unui model cu parametri identificabili la bornele d, q, f, deşi modelul conţine variabile pentru înfăşurările de amortizare. Există şi o altă schimbare de variabile care duce la obţinerea unui model cu parametrii identificabili. Pentru axa q rămîn valabile relaţiile din (53), iar pentru axa d se scriu relaţiile:

$$I_D = \frac{m_{fD}}{M_{fD}}\,i_D; \qquad \varphi_D = \frac{m_{fD}}{M_{fD}}\,\Phi_D, \qquad (63)$$

în care

$$m_{fD} = M_{fD}\,\frac{M_{df}}{M_{dD}} = \frac{M^2_{df}}{m_{md}} \qquad (64)$$

Noul model conţine variabile naturale pentru înfăşurările d, q, f şi variabile auxiliare pentru înfăşurările de amortizare D, Q.

Exemplu numeric. Cu relaţiile (61) şi cu datele din tabelul 4 (varianta 1) se calculează parametrii din tabelul 6 şi se verifică relaţiile de control (62).

Tabelul 6

Parametrii modelului d, (f, D), în u.r.

x_{md}	x_f	x_D	r_f	r_D
1,6369	1,7362	1,6184	0,001123	0,002712

7. Aproximaţii nejustificate

Ne referim la două categorii de aproximaţii care afectează parametrii tranzitorii ai maşinii sincrone: *aproximaţii inevitabile*, care intervin la identificarea experimentală a operatorilor modelelor, şi *aproximaţii evitabile*, care se admit pentru simplificarea calculului parametrilor.

Oricît de mari ar fi aproximaţiile inevitabile, nu se justifică introducerea în calcule a unor aproximaţii suplimentare dacă acestea nu se încadreaază în anumite limite şi dacă nu duc la reducerea importantă a calculelor.

O aproximaţie admisibilă şi justificată prin reducerea calculelor constă în neglijarea ultimilor termeni din ultimele ecuaţii (50). Se comit astfel erori evitabile de circa 1%, în schimb se evită calculul parametrului T'_{df} cu relaţiile din paragraful 4. Coeficienţii modelului (50) se calculează cu relaţii simple, în funcţie de datele iniţiale din tabelele 1 şi 2.

O aproximaţie admisă în mod curent în literatura de specialitate constă în neglijarea ultimilor termeni din prima relaţie (29). În loc de a rezolva o ecuaţie de gradul doi, se calculează constantele T'_{d0}, T''_{d0} cu relaţiile:

$$T'_{d0} \simeq T'_d\,\frac{X_d}{X'}; \qquad T''_{d0} \simeq T''_d\,\frac{X'}{X''_d} \qquad (65)$$

Aproximaţiile (65) provoacă erori de numai (1,5—2) % asupra constantelor T'_{d0}, T''_{d0}, însă stau la baza unei succesiuni de aproximaţii nejustificate.

Pe baza analogiei dintre expresiile reactanţelor X'_d din (31) şi X' din (65), se admit aproximaţiile

$$\begin{aligned} &X'_d \simeq X';\ \varepsilon\,\% \sim 12\ \%;\ 11{,}2\%;\ 8{,}2\% \\ &T'_f \simeq T'_d;\ \varepsilon\,\% \sim 18{,}8\%;\ 16{,}8\%;\ 9{,}1\% \\ &T_f \simeq T'_{d0};\ \varepsilon\,\% \sim 37{,}3\%;\ 33{,}8\%;\ 21\% \end{aligned} \qquad (66)$$

Erorile din (66) sînt calculate pentru cele trei variante din tabelul 4. Menţionăm că pentru maşinile cu poli aparenţi (hidrogeneratoare) erorile din (66) scad pînă la valori de circa 1—3%. În consecinţă, maşinile cu poli aparenţi pot fi considerate cu o bună aproximaţie ca maşini fără înfăşurări de amortizare.

O altă aproximaţie admisă în mod curent în literatura de specialitate este corelată cu utilizarea schemelor echivalente. Pe baza relaţiilor (55) şi (56) se construiesc schemele echivalente din figura 5 şi se consideră:

$$X_{qe} = X_{d\sigma}\ ; \quad X_{de} \simeq X_{d\sigma} \qquad (67)$$

Am arătat că reactanţa x_{mq} se alege arbitrar şi ca urmare se poate alege $x_{mq} = X_d - X_{d\sigma}$, adică $X_{qe} = X_{d\sigma}$.

Reactanţa $X_{d\sigma}$ este reactanţa de dispersie a înfăşurării d faţă de f. Reactanţa $X_{d\sigma}$ se determină experimental cu ajutorul a două caracteristici de regim permanent (metoda Potier): caracteristica de funcţionare în gol şi caracteristica de funcţionare în sarcină reactivă. În consecinţă, reactanţa $X_{d\sigma}$ este un parametru de regim permanent, şi nu de regim tranzitoriu, aşa cum este reactanţa X_{de}.

A doua relaţie din (67) este o aproximaţie nejustificată, care se admite datorită unor confuzii teoretice (par. 8).

Admiţind aproximaţiile (65), (66) şi (67), se stabilesc următoarele relaţii pentru calculul parametrilor modelului d (f, D):

$$x_{md} \simeq X_d - X_{d\sigma}$$

$$x_f \simeq \frac{x_{md}^2}{X_d - X'}$$

$$r_f \simeq \frac{x_f}{\omega_0 T'_d \dfrac{X_d}{X'}} \tag{68}$$

$$x_D \simeq \frac{X''_d - X_{d\sigma}}{X' - X''_d}(X' - X_{d\sigma}) + x_{md}$$

$$r_D \simeq \frac{1}{\omega_0 T''_d} \frac{X''_d}{X'} \frac{(X' - X_{d\sigma})^2}{X' - X''_d}$$

Relaţiile pentru calculul parametrilor x_f şi r_f se obţin plecînd de la relaţiile exacte din (61) şi admiţînd aproximaţiile (66). Relaţia pentru calculul reactanţei x_D se obţine cu ajutorul schemei echivalente din figura 4, a, în care parametrii m_{md} şi l_f se calculează cu relaţiile aproximative din (68). Se scurtcircuitează bornele $f - 0$ şi se exprimă inductivitatea văzută de la bornele $d-0$, care este egală cu inductivitatea subtranzitorie $L'_d = X''_d/\omega_0$. Relaţia pentru calculul rezistenţei r_D se obţine plecînd de la prima relaţie din (62), în care se consideră $T_D = l_D/r_D$ şi $T'_{d0} \simeq T_f$ şi se exprimă apoi x_f, x_D cu relaţiile din (68).

În tabelul 7 se dau parametrii calculaţi cu relaţiile (68), în care $X_{d\sigma} = 0{,}175$ u.r., conform cu [10].

Parametrii din tabelul 6 se compară cu cei din tabelul 5 şi se calculează erorile. Cu parametrii din tabelul 6 se calculează constantele T'_{d0}, T''_{d0} şi T'_d, T''_d folosind relaţiile (59), (40) şi (62). Avînd în vedere calculul erorilor asupra curenţilor tranzitorii ΔI_d şi ΔI_f, se calculează constantele B'_d, B''_d din tabelul 7 şi constantele T_{df}, T'_{df}, F', F'' din tabelul 8.

Tabelul 7

Parametrii calculaţi cu relaţiile (68) şi erorile faţă de parametrii din tabelul 5

x_{md}	x_f	x_D	r_f	r_D
1,675 23,%	1,7757 2,3 %	1,6928 5,1 %	0,00085 29,2 %	0,00549 103,3 %

Tabelul 8

Verificarea curentului statoric ΔI_d

T'_{d0}	T''_{d0}	T'_d	T''_d	B'_d	B''_d
7,5704 12 %	0,0574 10,7 %	1,0391 7,1 %	0,0337 26,7 %	3,3175 4,8 %	1,6717 7,2 %

Tabelul 9

Verificarea curentului de excitaţie ΔI_f

T_{df}	T'_{df}	F'	F''	t_{max}	$\Delta I_{f\,max}/I_{f0}$	$\Delta I_{f0}/I_{f0}$
5,6821 38,3 %	0,0103 147 %	5,595 23,2 %	2,260 65,5 %	0,088 43 %	5,01 37 %	3,335 264 %

Din tabelul 8 rezultă că aproximaţiile admise la calculul parametrilor influenţează în special asupra constantelor T'_{d0} şi T''_d. Deşi constanta T''_d este una din datele iniţiale ale problemei, eroarea asupra ei este de 26,7%.

Din tabelul 9 rezultă că aproximaţiile admise la calculul parametrilor provoacă erori de circa 40% asupra valorii maxime, $\Delta I_{f\,max}$, şi de circa 264% asupra valorii iniţiale, I_{f0}.

Rezultatele complet eronate cu privire la curentul de excitaţie se datoresc faptului că aproximaţiile (66) provoacă erori de circa 40% şi 147% asupra constantelor T_{df} şi T'_{df}, de care depind direct valorile $\Delta I_{f\,max}$ şi ΔI_{f0}, conform relaţiilor (44).

Constanta T_{df} se exprimă cu relaţia (33), care se poate transforma pentru a introduce direct aproximaţiile (66):

$$T_{df} = \frac{X_f(X_d - X'_d)}{\omega_0 R_f X_d} = T_f \frac{X_d - X'_d}{X_d} = \\ = T'_f \frac{X_d - X'_d}{X'_d} \simeq T'_d \frac{X_d - X'}{X'} \tag{69}$$

Calculînd T_{df} cu ultima relaţie din (69), se obţine valoarea din tabelul 8.

Valoarea eronată a constantei T'_{df} rezultă pozitivă şi, ca urmare, se obţine $F' > F''$, în loc de $F' < F''$, şi se deformează complet rezultatele în vecinătatea originii de timp.

În literatura de specialitate [1], [5] sînt menţionate discrepanţele dintre rezultatele teoretice şi cele experimentale referitoare la curentul de excitaţie. Se încearcă apropierea rezultatelor în special pentru valoarea maximă $\Delta I_{f\,max}$, dar nu se sesizează faptul că valoarea iniţială ΔI_{f0} este complet eronată.

Această situaţie se datoreşte nu numai aproximaţiilor nejustificate, ci mai ales unor confuzii teoretice, care influenţează asupra analizei rezultatelor experimentale.

8. Confuzii teoretice

Confuziile teoretice se datoresc unor interpretări greşite a schemelor echivalente din figura 5, precum şi unor interpretări greşite a mărimilor relative introduse de Rankine [9].

Se consideră în mod nejustificat că inductivităţile L_{de}, l_{fe}, l_{De} şi L_{qe}, l_{Qe} din schemele

echivalente (fig. 5) sînt inductivităţile de dispersie din teoria tehnică a cuplajelor magnetice [8]. În realitate, inductivităţile menţionate din schemele echivalente sînt mărimi de calcul care pot căpăta eventual valori negative, spre deosebire de inductivităţile de dispersie, care sînt mărimi pozitiv definite. Dacă se folosesc

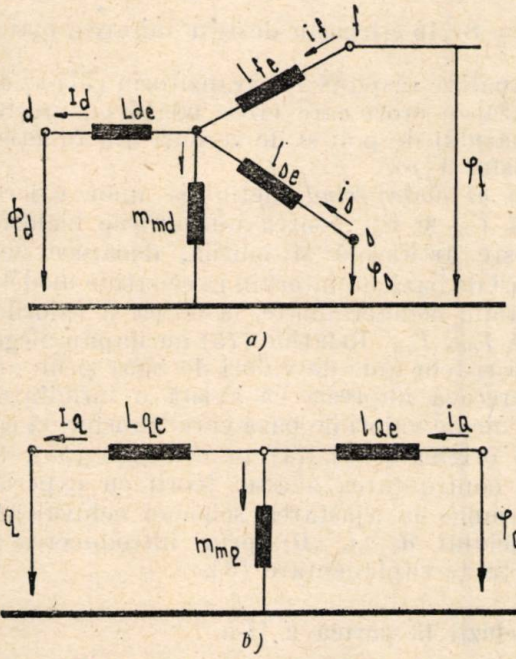


Fig. 5. Schemele echivalente ale cuplajelor magnetice: a — circuitele din axa q; b — circuitele din axa d.

$$L_{de} = L_d - m_{md}$$
$$l_{fe} = l_f - m_{md}$$
$$l_{De} = l_D - m_{md}$$
$$L_{qe} = l_q - m_{mq}$$
$$l_{Qe} = l_Q - m_{mq}$$

valorile exacte ale reactanţelor x_D şi x_{md} din tabelul 5, se obţine $x_{De} = -0{,}0262$ u.r. Acest rezultat pare suprinzător, însă se întîlneşte în mod obişnuit în cazul transformatorului trifazat cu trei înfăşurări.

Din cele de mai sus rezultă că relaţia a doua din (67) este o aproximaţie nejustificată la calculul regimului tranzitoriu. Reactanţa $X_{de} = X_d - x_{md} = 0{,}213$ u.r. este un parametru de regim tranzitoriu, în timp ce reactanţa $X_{d\sigma} = 0{,}175$ u.r. este un parametru de regim permanent. Prima relaţie din (67) este corectă la calculul regimului tranzitoriu pentru maşina cu circuitele magnetice nesaturate, dar devine o aproximaţie nejustificată la calculul regimurilor (permanente şi tranzitoriu) pentru maşina cu poli aparenţi cu circuitele magnetice saturate.

Rezultatele teoretice obţinute de noi ($x_{De} < 0$ şi $T'_{df} < 0$ şi $F' < F''$ şi $\Delta I_{f0} < 0$), pe baza unor date experimentale demne de încredere [10], nu au fost sesizate de experimentatori din două motive. În primul rînd, extragerea componentei subtranzitorii din oscilograma curentului de excitaţie este o operaţie afectată de mari erori şi, în al doilea rînd, se pare că această operaţie este tributară unor prejudecăţi.

Experimentatorii consideră că parametrii x_{De} şi T'_{df} nu pot fi negativi şi ca urmare estimează componenta subtranzitorie astfel încît să se obţină $F' > F''$, în loc de $F' < F''$.

Confuziile din teoria actuală a modelului d, q (f, D, Q) devin şi mai grave odată cu introducerea mărimilor relative cu valori de bază diferite pentru înfăşurările statorice şi rotorice [9].

În mod riguros, mărimile relative ale modelului d, q (f, D, Q) se definesc în raport cu două mărimi de bază, tensiunea V şi puterea aparentă S, pentru care se aleg valorile de bază V_B, S_B, de exemplu $V_B = V_n$ şi $S_B = S_n$, unde V_n este tensiunea nominală între fazele statorice, iar S_n puterea aparentă trifazată nominală.

În funcţie de V_B, S_B, se calculează valorile de bază ale mărimilor derivate, cum sînt, de exemplu:

$$I_B = \frac{S_B}{V_B}; \quad Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} \tag{70}$$

Variabilele relative ale modelului $d, q(f, D, Q)$ se exprimă cu relaţiile:

— pentru înfăşurările d, q:

$$I_{d^*} = \frac{I_d}{I_B}; \quad I_{q^*} = \frac{I_q}{I_B}$$
$$V_{d^*} = \frac{V_d}{V_B}; \quad V_{q^*} = \frac{V_q}{V_B} \tag{71}$$

— pentru înfăşurările (f, D, Q):

$$i_{f^*} = \frac{i_f}{I_B}; \quad v_{f^*} = \frac{V_f}{V_B}$$
$$i_{D^*} = \frac{i_D}{I_B}; \quad i_{Q^*} = \frac{i_Q}{I_B} \tag{72}$$

Modelul d, q (f, D, Q) cu mărimi relative (variabile şi parametri) se obţine din modelul d, q, f, D, Q prin două schimbări succesive de variabile (53) şi (71), (72). Dacă se elimină variabilele intermediare i_f, v_f şi i_D, i_Q din relaţiile (53) şi (72), se obţine:

$$i_{f^*} = \frac{I_f}{I_{fB}}; \quad v_{f^*} = \frac{V_f}{V_{fB}}$$
$$i_{D^*} = \frac{I_D}{I_{DB}}; \quad i_{Q^*} = \frac{I_Q}{I_{QB}}, \tag{73}$$

unde

$$I_{fB}=\frac{m_{md}}{M_{df}}I_B\,;\quad V_{fB}=\frac{M_{df}}{m_{md}}V_B$$
$$I_{DB}=\frac{m_{md}}{M_{dB}}I_B\,;\quad I_{QB}=\frac{m_{mq}}{M_{qQ}}I_B \qquad (74)$$

Pe baza relaţiilor (71), (73) şi (74) se poate da o nouă interpretare variabilelor relative (ale modelului d, q (f, D, Q). Variabilele relative (71) ale înfăşurărilor d, q se raportează la valori unice de bază I_B, V_B, iar variabilele relative (73) ale înfăşurărilor rotorice se raportează la valori de bază diferite, care se exprimă cu relaţiile (74).

În teoria actuală a modelului d, q (f, D, Q) se definesc variabilele relative ale înfăşurărilor rotorice direct cu relaţiile (73).

Se omite schimbarea intermediară de variabile (53), dar se impun următoarele condiţii pentru valorile de bază din (73):

$$S_B = V_{fB}\,I_{fB} = V_{DB}\,I_{DB} = V_{QB}\,I_{QB} \qquad (75)$$

Această manieră de tratare a problemei duce la confuzii teoretice, care au consecinţe practice grave.

În primul rînd, omiterea schimbării intermediare de variabile (53) face să se piardă relaţii indispensabile dintre variabile şi parametri, cum sînt ultimele trei relaţii din (53) şi cele două relaţii din (58). În lipsa acestor relaţii apar confuzii la exprimarea variabilei ΔE_f din (52) pentru modelul cu mărimi relative:

$$\Delta E_f=\frac{x_{md}}{r_f}\qquad \Delta v_f\simeq\frac{x_{md}}{r_f}\,Y(p)\,\Delta V \qquad (76)$$

Prima relaţie din (76) este corectă, însă a doua este o gravă eroare, deoarece implică egalitatea $\Delta v_f = \Delta V_f$, în loc de $\Delta v_f=\frac{x_{md}}{X_{df}}\cdot\Delta V_f=0{,}056\,\Delta V_f$. Discrepanţele dintre teorie şi experienţă se pun pe seama coeficientului de amplificare K din funcţia de transfer $Y(p)$. Se recurge la determinarea experimentală a coeficientului global $\frac{x_{md}}{r_f}K$ din (76), după cum urmează. Generatorul funcţionează în gol, iar bucla de reglare a tensiunii este deschisă. Se aplică treapta de tensiune U_0 la intrarea sistemului de reglare şi se oscilografiază tensiunea V dintre două borne statorice. Răspunsul tranzitoriu se exprimă cu ultima relaţie din (46), în care se consideră $\Delta I_d = 0$ şi $\Delta V_q = V$:

$$V=\omega_0\,T_{df}(p)\,Y(p)\,U_0=$$
$$\frac{X_{df}}{R_f}\,\frac{1+p\,T'_{df}}{(1+p\,T'_{d0})(1+p\,T''_{d0})}\,Y(p)\,U_0 \qquad (77)$$

Comparînd (76) cu (77), se constată că din determinarea experimentală rezultă coeficientul corect $\frac{X_{df}}{R_f}K$ din (52) în loc de coeficientul eronat $\frac{x_{md}}{r_f}$K din (76). Acest procedeu de determinare experimentală a raportului cunoscut $\frac{X_{df}}{R_f}=81{,}46$ stîrneşte desigur mirarea, mai ales că analiza răspunsului tranzitoriu (77) se efectuează cu erori care cresc odată cu creşterea numărului de poli şi de zerouri din funcţia de transfer $Y(p)$.

În al doilea rînd, definirea unor valori de bază V_{DB} şi V_{QB} pentru înfăşurările închise D, Q este artificială şi inutilă, deoarece aceste valori de bază nu intervin în ecuaţiile modelului şi rămîn nedeterminate, la fel ca şi valorile de bază I_{DB}, I_{QB}. Relaţiile (75) nu impun alegerea unui sistem unic de valori de bază şi de aceea se creează impresia că există o infinitate de sisteme de valori de bază care transformă ecuaţiile originare (5), (4) în ecuaţiile (55), (56). Din confruntarea acestei teorii cu experienţa se ajunge la ajustarea schemei echivalente a modelului d, (f, D) prin introducerea unei reactanţe suplimentare [5].

Concluzii la partea a II-a

În lucrare s-au prezentat două modele pentru calculul regimurilor tranzitorii cu ajutorul variabilelor de stare: modelul aproximativ d, q pentru calculul regimurilor cvasisinusoidale şi modelul exact d, q (f, D, Q) pentru calculul regimurilor cvasistaţionare. Este raţional ca aceste modele pentru calculul regimurilor să se asocieze cu modelele corespunzătoare pentru identificarea parametrilor.

Modelul aproximativ d, q pentru calculul regimurilor se asociază cu modelul d, q pentru identificarea parametrilor. Parametrii modelului propus se calculează cu relaţii simple în funcţie de parametrii identificaţi experimental în aproximaţia regimului cvasisinusoidal. Aproximaţia simplificatoare $T'_{df}\simeq 0$ din ecuaţiile diferenţiale (50) este totdeauna admisibilă, deoarece provoacă erori de numai 1% asupra variabilelor E'_f, E''_f.

Modelul aproximativ d, q îşi găseşte o largă aplicabilitate la calculul stabilităţii dinamice din reţelele electroenergetice complexe. Se pot introduce cu uşurinţă noi aproximaţii în ecuaţiile diferenţiale ale modelului ($T''_d\simeq 0$ şi $T''_q\simeq 0$) avînd în vedere calculul stabilităţii dinamice pe termen lung.

Modelul exact d, q (f, D, Q) pentru calculul regimurilor se asociază cu modelul exact d, q, f pentru identificarea parametrilor. Parametrii modelului d, q (f, D, Q) se calculează cu relaţii exacte în funcţie de T'_{df} şi de parametrii identi-

ficați experimental. Constanta T'_{df} se calculează fie în funcție de constantele de timp ale modelului exact d, q, f, fie în funcție de constantele de timp ale modelului aproximativ d, q.

Modelul exact $d, q\,(f, D, Q)$ se utilizează în calcule speciale de stabilitate dinamică pentru a studia, de exemplu, efectul „backswing" și metoda „bang-bang".

Dispunînd de relațiile exacte, stabilite de noi, pentru calculul parametrilor modelului d, q (f, D, Q) am avut posibilitatea să verificăm aproximațiile nejustificate, care se admit în mod curent înn literatura de specialitate. Am constatat că aceste aproximații provoacă erori de circa (20—30)% asupra parametrilor subtranzitorii și deformează complet rezultatele referitoare la curentul de excitație.

În legătură cu parametrii subtranzitorii există părerea că erorile de circa 30—40% se datoresc aproximațiilor inevitabile de la identificarea parametrilor prin analiza curenților de scurtcircuit trifazat [6]. Verificarea efectuată de noi dovedește că erorile de 20—30% se datoresc aproximațiilor admise în calculul parametrilor modelului d, $q(f, D, Q)$, și nu aproximațiilor inevitabile de la identificarea parametrilor.

În legătură cu discrepanțele referitoare la curentul de excitație am arătat că acestea se datoresc nu numai aproximațiilor admise la calculul parametrilor, dar și unor confuzii teoretice care provoacă estimarea eronată a rezultatelor experimentale.

Am comentat cîteva din confuziile existente în teoria actuală a modelului d, $q(f, D, Q)$ care este prezentat întotdeauna ca un model cu mărimi relative, cu valori de bază diferite pentru înfășurările statorice și rotorice [9]. Nu am epuizat toate aspectele acestei probleme și nici nu am avut intenția să o facem. Am urmărit numai să scoatem în evidență și pe această cale importanța practică a teoriei prezentate de noi.

Am sutdiat mașina sincronă idealizată, dar am făcut unele referiri la mașina cu circuitele magnetice saturate. Menționăm că intervenția saturației magnetice poate să producă modificări esențiale în valorile parametrilor x_{De} și T'_{df}. Odată cu creșterea saturației magnetice, parametrii negativi x_{De} și T'_{df} tind către zero și devin apoi pozitivi.

Aceste probleme vor fi tratate într-un articol viitor, referitor la calculul regimurilor permanente și tranzitorii în mașina cu circuitele magnetice saturate.

ANEXA 2

Ecuațiile diferențiale ale variabilelor auxiliare E'_f și E''_f

Ecuația a doua din (49) se înmulțește cu $X_d(p)$ și apoi se exprimă operatorii $X_d(p)$, $T_{df}(p)$ cu relațiile (24). După eliminarea numitorului comun rezultă:

$$(1 + p\,T'_d)(1 + p\,T''_d)\,\Delta E''_f = \left(1 - \frac{X''_d}{X_d}\right)\Delta V_q + \frac{X''_d}{X_d}\,\Delta E_f + p\left[T'_d + T''_d - \frac{X''_d}{X_d}\,(T'_{d0} + T''_{d0})\right]\Delta V_q + p\,T'_{df}\,\frac{X''_d}{X_d}\,\Delta E_f \tag{A.10}$$

unde

$$\Delta E_f = \frac{X_{df}}{R_f}\,\Delta V \tag{A.11}$$

Din ecuația operațională de ordinul doi (A.10), rezultă două ecuații operaționale de ordinul întîi:

$$(1 + p\,T''_d)\,\Delta E''_f + p\,T'_d\,\Delta E'_f = \left(1 - X\frac{X''_d}{X_d}\right)\Delta V_q + \frac{X''_d}{X_d}\,\Delta E_f$$

$$\Delta E'_f = (1 + p\,T''_d)\,\Delta E''_f - \left[1 + \frac{T''_d}{T'_d} - \frac{X''_d}{X_d}\,\frac{T'_{d0} + T''_{d0}}{T'_d}\right]\Delta Vq - \frac{T'_{df}}{T'_d}\,\frac{X''_d}{X_d}\,\Delta E_f \tag{A.12}$$

Prima ecuație din (A.12) se înlocuiește cu suma ecuațiilor și se obține sistemul de formă canonică (50), în care

$$D = \frac{X''_d}{X_d}\,\frac{T'_{d0} + T''_{d0}}{T'_d} - \frac{T''_d}{T'_d}. \tag{A.13}$$

Cu prima relație din (29) se elimină suma $T'_{d0} + T''_{d0}$ din (A.13)

Bibliografie

[1] Adkins, B. *The general theory of electrical machines* Champman Hall, 1964.

[2] Barbier, C. *Les modèles des machines électriques et de leurs organes de commande dans les études de comportement dynamique des réseaux.* E.d.F., Etudes des Réseaux, 1976.

[3] Barret, Ph. *Détermination des paramètres des machines synchrones par la méthode d'analyse fréquentielle.* În: R.G.E., decembrie 1967.

[4] Barret, R. G. și Roquefort, V. V. *Calculation and measurement of frequency response of large turboalternators in the presence of small disturbances.* În: IEEE Trans. PAS—92, iulie/august 1973, p. 1348—1357.

[5] Canay, M. *Causes of discrepancies on calculation of rotor quantities and exact equivalent diagrams of the synchronous machine.* In: IEEE Trans. PAS—88, nr. 7, 1969, 1114—1120.

[6] Gosbell, V. J. și Webb, A. J. *Stationary decay tests of synchronous machines.* Raport CIGRE, 1972.

[7] Olive, D. W. *Digital simulation of synchronous machine transients.* În: IEEE Trans. PAS—87, aug. 1968, p. 1669—1675.

[8] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice.* Editura tehnică, București 1977.

[9] Rankine, A. *Per-unit impedances of synchronous machines.* În: AIEE Trans. 64, 1945, p. 569—573 și p. 839—841.

[10] Shackshaft, G. și Neilson, R. *Results of stability tests on an underexcited 120 MW.* În: Proc. IEE, 119, nr. 2, 1972.

[11] Wright, S. N. *Determination of synchronous machine constants by test.* În: Transactions AIEE, 1931, 50, p. 1331—1351.

Funcţionarea economică a autotransformatoarelor în schemele centralelor electrice

Al. Selischi şi B. Guzun*)

Înlocuirea transformatoarelor cu autotransformatoare este net avantajoasă pentru un raport înaltă/medie tensiune care nu întrece cu mult valoarea 3/1. Folosirea autotransformatoarelor şi în schemele centralelor electrice în regimul preferenţial de autotransformator ridicător reprezintă un pas înainte spre economia de investiţii şi reducerea de pierderi de energie.

Deocamdată, la noi în ţară, autotransformatoarele de putere au rolul de interconexiune în sistemul electroenergetic, participînd la tranzitul de putere între înaltă şi medie tensiune. Terţiarul în Δ, dacă este folosit, serveşte pentru conectarea bobinelor de compensare a puterii reactive capacitive a liniilor electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune.

În lucrarea de faţă se pledează pentru utilizarea tuturor înfăşurărilor, situaţie avantajoasă atît din punctul de vedere al cheltuielilor de exploatare — costul pierderilor de energie activă—cît şi în privinţa reducerii de investiţii prin suprimarea unor transformatoare—bloc, o parte din generatoarele centralei electrice cuplîndu-se la înfăşurările terţiare ale autotransformatoarelor.

Se prezintă, de asemenea, o metodă grafică de evaluare rapidă a domeniului maxim permis de funcţionare a autotransformatoarelor, ţinînd seama de încărcarea simultană a celor trei înfăşurări în cazul general cînd pe terţiar se injectează sau se absoarbe putere. Sînt examinate regimurile de funcţionare ca autotransformator ridicător şi coborîtor pentru diferite valori ale factorului de putere pe partea de recepţionare a puterii şi pe partea înfăşurării în Δ.

În fine, se încearcă desprinderea unor concluzii finale privind variaţia domeniului maxim de funcţionare permisă, atunci cînd variază tranzitul de putere pe terţiar, raportul de transformare al autotransformatorului sau se acţionează asupra treptelor de reglaj ale busterului.

Consideraţii de bază

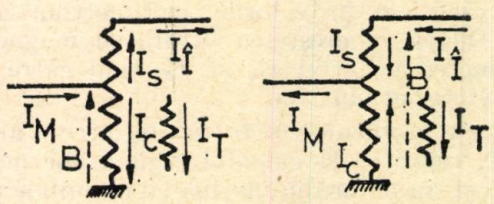
Autransformatoarele sînt net avantajoase faţă de transformatoarele cu trei înfăşurări, deoarece valoarea puterii transformate, în cazul schimbului de putere prin cuplaj, este diminuată la mărimea puterii de tip < puterea nominală. În fine, transformarea de putere de la tensiunea joasă (inferioară) la celelalte tensiuni se face ca într-un transformator [1], [2]. Notaţiile folosite au semnificaţia :

A — tip autotransformator
S — înfăşurare serie
C — înfăşurare comună
T — înfăşurare terţiară (de tensiuni inferioare), în kV
$Î$ — tensiunea bornei de valoare mai ridicată (înaltă), în kV
M — tensiunea bornei de valoare mai coborîtă (medie), în kV
R — partea receptoare
S_n — puterea nominală a autotransformatorului (n = nominal), în MVA
$K = \pm$ I/M — raportul de transformare
$\alpha = 1 - K^{-1}$ — coeficientul de avantaj
t — tensiune, în general.

Puterea de tip, $\alpha \cdot S_n$, se transmite prin cuplaj magnetic, urmînd ca restul de putere $(1-\alpha) \cdot S_n$ să se transmită prin cuplaj galvanic. Această situaţie se menţine avantajoasă pînă la valori $K = 3/1$, deşi valori superioare au fost citate în literatură la care încă este judicios să se folosească un autotransformator în locul unui transformator [3]. Reţelele legate prin cuplaj autotransformator trebuie însă să aibă acelaşi sistem de tratare a neutrului; altfel ar putea să apară supratensiuni inadmisibile la medie tensiune.

Înfăşurarea în Δ are, pe lîngă rolul de a suprima armonica de ordinul 3 din unda curentului de excitare (pentru care ar fi necesară o calibrare la cîteva procente din S_n), şi importantul rol de a reduce la valori acceptabile reactanţa homopolară, motiv pentru care se calibrează $\geqslant 35\%\ S_n$ [3].

Participarea terţiarului la circulaţia de putere afectează circulaţia iniţială de curenţi în înfăşurările serie şi comună, în sensul că sarcina terţiară trebuie să fie echilibrată de solenaţia suplimentară care apare în înfăşurarea de înaltă sau medie tensiune, funcţie de borna de injecţie de înaltă sau medie tensiune. În figura 1 se arată circulaţia curenţilor : în regimul de



a) *b)*

Fig. 1. Circulaţia de curenţi în autotransformator : *a* — autotransformatorul ridicător; *b* — autotransformatorul coborîtor.

ridicător se presupune că borna de IT are un curent impus de impedanţa constantă la IT, solenaţia echilibrată a sarcinii din Δ va apărea

*) Ing. Alexandru Selischi este conferenţiar la Catedra de centrale electrice din Institutul politehnic Bucureşti; ing. Basarab Guzun este asistent la aceeaşi catedră.

doar la MT; în regimul coborîtor, solenaţia de reacţie datorită sarcinii terţiare va apărea în ambele înfăşurări, serie şi comună.

Este util de observat, aşa cum s-a mai arătat, că puterea fiecărei înfăşurări se poate obţine multiplicînd curentul care o străbate cu diferenţa de potenţial care se aplică înfăşurării respective.

În acest fel se găseşte imediat că toate cele trei înfăşurări sînt calibrate la puterea de tip [2]. Mărimea autotransformatorului este strîns legată de regimul de încărcare parţial sau simultan al înfăşurărilor, de factorul de putere, după cum se va vedea mai departe. Circulaţia de putere se modifică şi funcţie de unitatea de reglaj (buster) şi de plotul pe care aceasta funcţionează. Avînd în vedere şi acest ultim aspect, se impune o scurtă prezentare a sistemelor de reglaj folosite la autotransformatoarele mari din sistemul energetic românesc.

Reglajul tensiunii autotransformatoarelor mari

În sistemul energetic naţional se întîlnesc două sisteme de reglaj al tensiunii [4]. Autotransformatorul din staţia CHE Porţile de Fier de putere nominală 3 × 133 MVA şi raportul de transformare nominal 400/231 kV, iar înfăşurarea în Δ la 22 kV, prezintă sistemul de reglaj longitudinal pe inelul înfăşurării comune (fig. 2 *a*).

Prin injectarea unei tensiuni suplimentare reglabile, ΔU_0, pe inelul comun, în diverse regimuri de funcţionare, se modifică fluxul rezultant din unitatea principală, ceea ce conduce la modificarea tensiunii înfăşurării terţiare.

ΔU_0 este reglabilă în trepte între + 29,85 şi −31,455 kV (21 de poziţii de comutare).

Al doilea exemplu semnificativ de reglaj este autotransformatorul din staţia CET Bucureşti-Sud şi are puterea nominală 400 MVA, iar raportul de transformare nominal 400/231 kV.

Înfăşurarea terţială (22 kV) poate folosi la conectarea bobinelor pentru compensarea puterii reactive furnizate de liniile de transport şi are puterea nominală 160 MVA, din care puterea de 100 MVA utilizată pentru bobine şi 60 MVA pentru unitatea de reglaj (fig. 2 *b*).

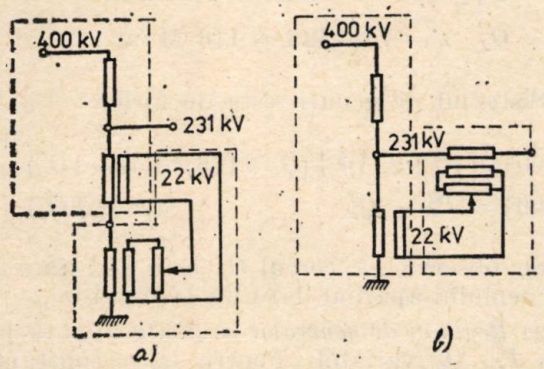


Fig. 2. Reglajul tensiunii — scheme de principiu :
a — reglaj pe nulul comun al înfăşurărilor de 400 şi 220 kV; *b* — reglajul longitudinal sau longotransversal pe înfăşurarea de medie tensiune

Prin intermediul unităţii de reglaj se realizează pe borna de 231 kV :

— un reglaj longitudinal de ± 15 % în ± 12 trepte (265,65 — 231 — 196,36 kV, fig. 3 *a*);

— un reglaj mixt (longotransversal) la ± 120° (prin conectarea unităţii de reglaj la faze diferite) în ± 12 trepte (215,75 — 231 — 252,5 kV, fig. 3, *b*, *c*) şi cu un defazaj de — 7,5° pînă la 8,5° între fazorii tensiunilor de 400 şi 231 kV.

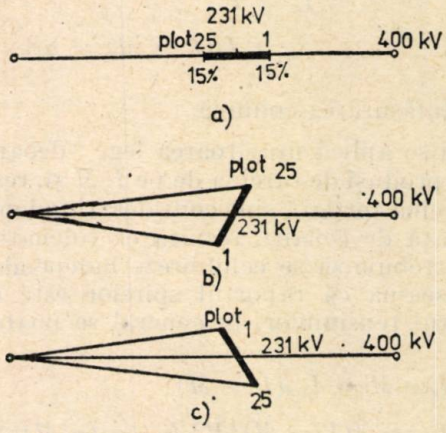


Fig. 3. Reglajul combinat longotransversal pentru autotransformatorul cu flux constant :
a — reglaj longitudinal; *b* — reglaj mixt la 120°; *c* — reglaj mixt la —120°

Caracteristica acestui autotransformator, luat în continuare ca suport de calcul numeric, este faptul că unitatea principală funcţionează cu flux şi raport de transformre constant, pentru că reglajul se efectuează prin însumare fazorială a unui fazor la tensiunea de 231 kV.

Regimurile de exploatare admisibile ale autotransformatoarelor

Autotransformatoarele se încarcă diferit pe cele trei înfăşurări funcţie de regimul de ridicător (transferul de putere se face dinspre înfăşurarea de MT spre cea de IT) sau coborîtor (transferul de putere se face de la înfăşurarea de IT spre cea de MT) şi funcţie de variaţia puterii pe înfăşurarea terţiară.

Dimensionarea trebuie făcută astfel încît să nu se depăşească puterea de tip pentru nici una din înfăşurări. Cu toate acestea, în lipsa unei diagrame simple, calculul puterilor cu care se încarcă fiecare înfăşurare la funcţionarea simultană devine destul de anevoios, iar în exploatarea curentă există o serie de autotransformatoare în funcţiune sub- sau supradimensionate [3]. De aici rezultă importanţa practică în alcătuirea unei diagrame care să indice imediat variaţia puterii la borna receptoare de IT sau MT pentru diferite valori ale factorului de putere şi diferite puteri injectate pe Δ.

A. *Regimul de autotransformator ridicător*

Se recepţionează pe IT puterea S_i; deci curentul prin înfăşurarea serie datorită tranzitului de putere în regim de autotransformator este egal cu curentul total prin acea înfăşurare (fig. 1 *a*).

a) Înfăşurarea serie

$$\begin{aligned} I_{SA} &= S_i/\hat{I} \\ I_S &= I_{SA} \\ S_S &= I_S(I - M) = \alpha S_i \end{aligned} \tag{1}$$

b) Înfăşurarea comună

Aici se aplică următoarea lege: deoarece curenţii produşi de sarcina de pe I/M şi, respectiv, de sarcina terţiară sînt consideraţi independenţi unii faţă de ceilalţi, rezultă că solenaţiile produse trebuie să se echilibreze independent. Ţinînd seama că raportul spirelor este egal cu raportul tensiunilor, în general se poate scrie:

$$\begin{aligned} &I_{CA} \cdot M = I_{SA}(I - M) \\ &I_{CA} = [(I - M)/M]\, I_{SA} = (\alpha/M) \cdot S_i \\ &I_C = I_{CA} - I_T, \quad \text{unde} \\ &I_T = S_T/M \\ &S_C = I_C \cdot M = \alpha S_i - S_T \end{aligned} \tag{2}$$

Punînd pentru cazul general:

$$\begin{aligned} \underline{S}_i &= P_i + j\, Q_i \\ \underline{S}_T &= P_T + j\, Q_T \end{aligned}$$

rezultă în final ecuaţiile relative la înfăşurările serie şi comună în regimul ridicător:

$$\begin{aligned} \underline{S}_S &= \alpha(P_i + j\, Q_i) \\ \underline{S}_C &= \alpha(P_i + jQ_i) - (P_T + jQ_T) \end{aligned} \tag{3}$$

Dacă se separă părţile reală şi imaginară, se împarte cu α şi se ridică la pătrat, ţinînd seama că puterile nominale ale înfăşurărilor serie şi comună, S_{sn}, S_{cn}, sînt puterile de tip, rezultă domeniul maxim din sistemul de ecuaţii de mai jos:

$$\begin{cases} \left(\dfrac{S_{sn}}{\alpha}\right)^2 = P_i^2 + Q_i^2 \\ \left(\dfrac{S_{cn}}{\alpha}\right)^2 = (P_i \mp P_T/\alpha)^2 + (Q_i \mp Q_T/\alpha)^2 \end{cases} \tag{4}$$

unde semnul minus corespunde situaţiei de injecţie de putere efectuată de un generator al centralei electrice racordat pe terţiar; semnul plus corespunde situaţiei cînd se absoarbe puterea P_r în întregime, de exemplu pentru regimul de pompare al unei CHE cu pompare-acumulare. Se poate absorbi $P'_T < P_T$ în situaţia de alimentare a serviciilor interne ale unui grup turbogenerator, etc. În fine, se poate funcţiona pe terţiar în regim inductiv ori capacitiv, se poate produce (+) sau absorbi (−) putere reactivă.

Cum bornele receptoare de putere sînt la IT, $\underline{S} = \underline{S}_R$, pentru că $S_{sn}/\alpha = S_{cn}/\alpha = S_n$, relaţiile (4) se scriu sub forma simplă (5):

$$\begin{cases} S_n^2 = P_R^2 + Q_R^2 \\ S_n^2 = (P_R \mp P_T/\alpha)^2 + (Q_R \mp Q_T/\alpha)^2, \end{cases} \tag{5}$$

iar domeniul maxim admisibil funcţie de S_R pentru diferite valori S_T rezultă simplu din intersecţia a două cercuri.

Pentru discuţia regimurilor se face apel la exemplul numeric al autotransformatorului românesc de 400/400/160 MVA, 400/231/22 kV cu reglaj longitudinal sau longotransversal pe înfăşurarea de MT (231 kV) descris mai sus. Avînd în vedere consumul de putere reactivă de 60 MVar pe plotul maxim, pe terţiar se poate cupla generatorul românesc de 100 MW, cos φ = = 0,8; deci se fac următoarele ipoteze de bază, şi anume:

Ipoteza I

1. Autotransformatorul funcţionează cu busterul de reglaj pe plotul zero, astfel încît nu este nevoie de putere reactivă suplimentară pentru reglaj.

2. Raportul de transformare este egal cu raportul de transformare nominal, deci constant:

$$\begin{aligned} &K = I/M = K_n = 400/231 = 1{,}73 \\ &\alpha = 1 - 1/\mathrm{k} = 1 - 0{,}575 = 0{,}425 \\ &S_n = 400 \text{ MVA} \\ &S_{tip} = \alpha S_n = 170 \text{ MVA} \\ &P_{Tn}/\alpha = 100/0{,}425 = 235 \text{ MW} \\ &Q_{Tn}/\alpha = 75/0{,}425 = 176 \text{ Mvar} \end{aligned}$$

Sistemul de ecuaţii este de forma:

$$\begin{cases} 400^2 = (P_R^2 \mp 235)^2 + (Q_R \mp 176)^2 & (\text{cercul } O_C) \\ 400^2 = P_R^2 + Q_R^2 & (\text{cercul } O_S) \end{cases} \tag{6}$$

Se observă că cercul O_S este fix, limitările domeniului apărînd datorită cercului O_C.

a) *Regimul de generator* se poate discuta pentru P_G, Q_G variabili. Pentru Q_G = constant şi P_G = variabil, centrul cercului O_c (Q_T/α, P_T/α) se deplasează pe paralela la axa P_R. Pentru

$P_G = P_{Gn}$ = max. rezultă domeniul (Δ_1) (fig. 4). Se vede că funcționarea în domeniul capacitiv pe partea de înaltă tensiune este limitată de înfășurarea comună, mai ales la puteri active mici. Pe măsură ce mașina se descarcă, rezultă o scădere a puterilor active permise pe partea receptoare de înaltă tensiune în regimul

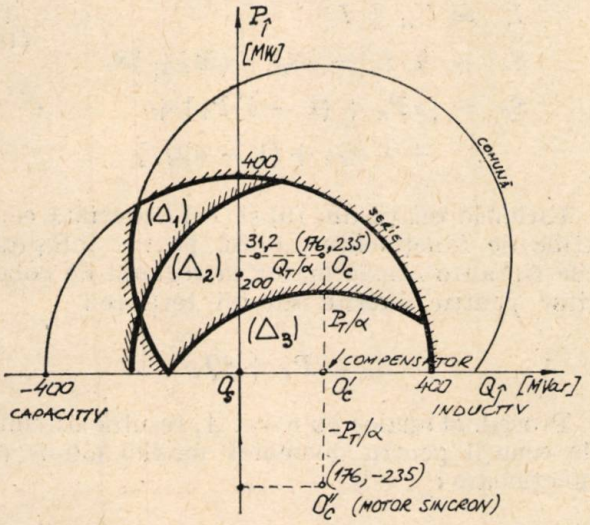


Fig. 4. Domeniul maxim de funcționare construit cu diagrama cercurilor pentru cazul autotransformatorului ridicător.
——— sarcină inductivă

capacitiv, concomitent cu sporirea puterii limită absorbite la puteri $P_R \to 0$, în același regim de funcționare. În acest regim, cînd dispare sarcina S_T, înfășurarea comună este susceptibilă de eventuale suprasarcini, dacă nu se reduce S_R, astfel ca $S_C \leqslant \alpha S_n$, relația (6).

b) *Regimul de compensator sincron* rezultă pentru $P_G = 0$, pentru care funcționarea în regimul capacitiv pe partea receptoare a autotransformatorului se face cu maximă absorbție de putere reactivă $Q_{Rcap} = S_n - Q_T/\alpha = 224$ Mvar numai dacă $P_R = 0$; pentru $P_R > 0$ funcționarea are loc în domeniul maxim (Δ_2).

Funcționarea inductivă pe partea receptoare este limitată de înfășurarea serie.

c) *Regimul de motor sincron* este interesant de luat în considerare, dacă ne gîndim că în ultimul timp s-au pus în funcțiune mari CHE cu acumulare-pompare. Centrul cercului înfășurării comune este acum O_c [Q_T/α, $-P_T/\alpha$]. În acest regim, puterea maximă disponibilă P_R pe înfășurarea de IT scade mult, și anume:

$$P_{max} = S_n - P_r/\alpha = 400 - 235 = 165 \text{ MW} \quad \text{pentru}$$

$$Q_R = Q_T/\alpha = 176 \text{ Mvar.}$$

Domeniul de funcționare permis a fost notat în acest caz cu (Δ_3). Dacă se cere o putere S_{Rmax} la IT în domeniul inductiv, este necesar ca motorul să funcționeze supraexcitat. Se observă, de asemenea, că aproape tot domeniul de funcționare este limitat din cauza înfășurării comune. De obicei însă nu se funcționează cu $P_T = -P_{Tmax}$, ci la o valoare intermediară, de exemplu pentru cazul în care grupul urmează să pornească serviciile interne (eventual și serviciile interne generale sînt alimentate de la înfășurarea în Δ). În acest caz, domeniul de funcționare trece de la (Δ_3) $\to$ (Δ_1) prin faze intermediare.

Se vede imediat, din relația (6), că în acest regim de absorbție pe terțiar a puterii S_T apare de asemenea riscul suprasolicitării înfășurării comune.

d) *Cazul P_T = constant, Q_T = variabil* arată că, pentru a funcționa în domeniul inductiv sau capacitiv pe partea de IT, este bine ca puterea reactivă de pe terțiar să fie de asemenea inductivă (generator supraexcitat) sau capacitivă (generator subexcitat) pentru ca domeniul să rezulte maxim în zona inductivă, respectiv capacitivă.

Cazul particular $P_T = Q_T = 0$, în care rezultă valoarea maximă a domeniului, trebuie interpretat astfel: $S_{Rmax} = S_n$ are loc prin transportul de la MT spre IT a puterii $S_{MT} = S_n$. Dar este foarte probabil să existe deficit de putere la MT. În acest caz se face apel la terțiar, regimul fiind deosebit de avantajos cînd de la terțiar și MT se injectează la IT puterile S_n, respectiv $(1 - \alpha)$ S_n, așa cum s-a arătat în lucrarea [2].

În cazul funcționării capacitive, cercul mobil care reprezintă $P_R = f(Q_R)$ la diferite valori P_T, Q_T din punctul de vedere al înfășurării comune, se va suprapune peste domeniul înfășurării serie, de data aceasta în partea stîngă, în figura 6. Este ca și cum domeniile (Δ 1, 2, 3) s-ar roti cu 180° în jurul axei $O - P_R$, limitările apărînd acum în dreapta, adică în domeniul inductiv.

Ipoteza II

Se presupune o variație a raportului de transformare $K \neq K_n$, datorită unor variații de tensiune în rețelele de IT și MT, iar plotul de reglaj al busterului nu a fost modificat de pe poziția zero, considerată și în ipoteza *I*.

Fie $K = 380/220 = 1{,}65$ o scădere a raportului de transformare în raport cu $K_n = 400/231 = 1{,}73$.

$$\alpha = 1 - 1/K = 0{,}393$$

Coordonatele centrului cercului înfășurării comune, în cazul racordării aceluiași generator de 100 MW, sînt:

$$P_T/\alpha = 100/0{,}393 = 255 \text{ MW}$$

$$Q_T/\alpha = 75/0{,}393 = 191 \text{ MW}$$

Sistemul de ecuații este de aceeași formă:

$$\begin{aligned} 400^2 &= (P_R \mp 255)^2 + (Q_R \mp 191)^2 \text{ (comună)} \\ 400^2 &= P_R^2 + Q_R^2 \text{ (serie)} \end{aligned} \qquad (7)$$

Se observă că pentru aceeaşi sarcină terţiară S_T, avem de-a face cu o depărtare a centrelor cercurilor O_C şi O_S de la valoarea $(176^2 + 235^2)^{1/2}$ la valoarea $(191^2 + 255^2)^{1/2}$, deci o limitare a domeniului de funcţionare capacitivă. Acelaşi lucru se poate afirma despre regimul de funcţionare inductivă cînd $Q_T = Q_{Gcap}$. În rezumat, atunci cînd are loc o scădere sau o creştere a raportului de transformare, rezultă o variaţie în acelaşi sens a domeniului maxim pe partea receptoare de IT.

Ipoteza III

Pentru a menţine raportul de transformre se acţionează asupra ploturilor de reglaj. Se presupune o deplasare maximă pe plotul de $\pm 15\%$, în care caz pentru reglaj sînt absorbiţi 60 Mvar. Se reia regimul nominal al generatorului în care acesta produce 100 MW şi 75 Mvar, din care 60 Mvar sînt absorbiţi de terţiarul în Δ cota buster. Este ca şi cum maşina, artificial, nu transmite pe partea de IT decît 15 Mvar.

Coordonatele cercului mobil (înfăşurarea comună) pentru

$$K = K_n = 400/231 = 0{,}575$$
$$\alpha = 1 - K^{-1} = 0{,}393$$

este de forma

$$P_G/\alpha = 100/0{,}393 = 255 \text{ MW}$$
$$(Q_G - Q_{buster})/\alpha = (75 - 15)/0{,}393 = 38{,}2 \text{ Mvar} \quad (8)$$

Este interesant de remarcat că rezultă o scădere a segmentului $\overline{O_S O_C}$, deci o mărire a domeniului permis de funcţionare. Într-adevăr, busterul de reglaj absorbind în această situaţie 60 Mvar, pe partea de IT, se poate funcţiona şi mai mult în zona capacitivă, cele două cercuri, comun şi serie, apropiindu-se unul de altul.

B. Regimul de autotransformator coborîtor

Se recepţionează puterea $S_R = S_M$ la borna de MT provenită de la borna de IT sau JT.

Conform figurii 1b curenţii prin înfăşurările tip autotransformator sînt :

a) Înfăşurarea-serie

$$\begin{aligned} I_{SA} &= S_M/I = S_R/I \\ I_T &= S_T/I \\ I_C &= I_{CA} - I_T \\ S_C &= (1 - M)I_S = \alpha(S_R - S_T) \\ \underline{S}_S &= \alpha[(P_R - P_T) + j(Q_R - Q_T)] \end{aligned} \quad (9)$$

b) Înfăşurarea comună

Aplicînd acelaşi principiu al echilibrării solenaţiilor serie şi comună, se scrie, conform (2) :

$$\begin{aligned} I_{CA} &= I_{SA}(I - M)/M = (\alpha/M)S_R \\ I_T &= S_T/I \\ I_C &= I_{CA} + I_T \\ S_C &= M \cdot I_C = \alpha S_R + (M/\pm)S_T \\ \underline{S}_C &= [\alpha P_R + (1 - \alpha)P_T] + \\ &\quad + j[\alpha Q_R + (1 - \alpha)Q_T] \end{aligned} \quad (10)$$

Ultimele relaţii din (9) şi (10) reprezintă ecuaţiile de funcţionare admisă pentru înfăşurările tip autotransformator în regimul de coborîtor pentru diferite sarcini terţiare :

$$\underline{S}_T = P_T + jQ_T$$

Procedînd analog cu cazul *A*, rezultă sistemul de ecuaţii pentru domeniul maxim admis de funcţionare :

$$\begin{aligned} S_n^2 &= (P_R \mp P_T)^2 + (Q_R \mp Q_T)^2 \\ S_n^2 &= \{P_R \pm [(1 - \alpha)/\alpha]P_T\}^2 + \\ &\quad + \{Q_R \pm [(1 - \alpha)/\alpha]Q_T\}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Se menţin aceleaşi date pentru exemplul numeric ca şi în regimul ridicător. Primul semn se referă la cazul în care se injectează putere pe terţiar (regim de generator), iar al doilea se referă la cazul în care se absoarbe putere de pe terţiar (regim de comsumator).

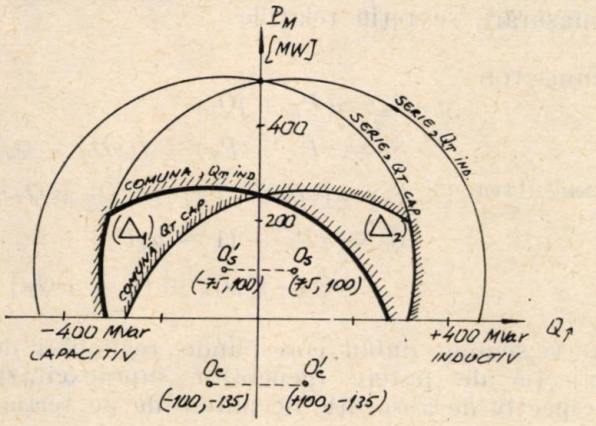
$$K = 0{,}575$$
$$\alpha = 0{,}425$$
$$S_n = 400 \text{ MVA}$$
$$S_{tip} = 170 \text{ MVA}$$
$$\beta = (1 - \alpha)/\alpha = 1{,}35$$
$$\beta P_T = 1{,}35 \cdot 100 = 135 \text{ MW}$$
$$\beta Q_T = 1{,}35 \cdot 75 = 101 \text{ Mvar}$$

Cu aceste date sistemul de ecuaţii (11) devine :

$$\begin{aligned} 400^2 &= (P_R \mp 100)^2 + (Q_R \mp 75)^2 \\ 400^2 &= (P_R \pm 135)^2 + (Q_R \pm 101)^2 \end{aligned} \quad (12)$$

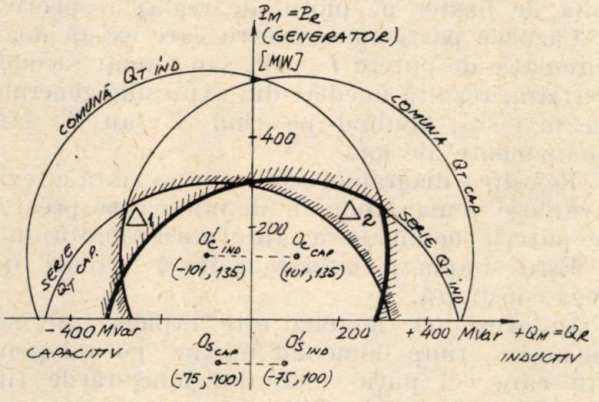
Spre deosebire de cazul anterior (fig. 5 *a*), funcţionarea de data aceasta în regim de autotransformator coborîtor se remarcă prin dubla „mobilitate" a cercurilor deoarece atît domeniul înfăşurării serie — cercul de centru O_S

($\mp Q_T, \mp P_T$) cît și domeniul înfășurării comune — cercul de centru $O_C(\pm\beta Q_T, \pm\beta P_T)$ sînt mobile. (Situație pentru care $K \to 1$, $\alpha \to 0$, $\beta \to \infty$ este aparentă. Ea trebuie discutată pentru cercurile de rază $S_{CN} = \alpha S_n = 170$ MVA, pentru care $\beta' = 1 - \alpha \to 1$, în coordonate αQ_R, αP_R). Raza vectoare dintre



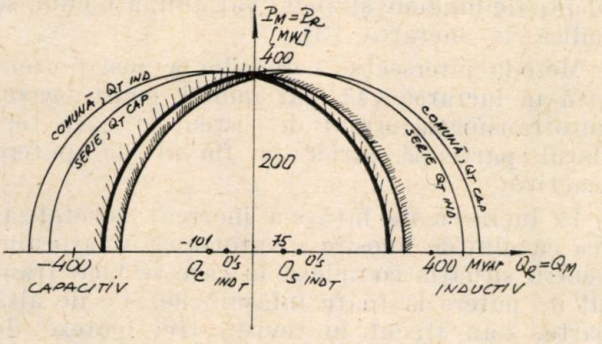
a)

Fig. 5 *a*. Domeniul maxim de funcționare admisă pentru cazul autotransformatorului coborîtor (generator racordat la terțiar).



b)

Fig. 5 *b*. Domeniul de funcționare pentru cazul autotransformatorului coborîtor, pe terțiar fiind racordat un consumator.



c)

Fig. 5 *c*. Domeniul de funcționare pentru cazul în care pe înfășurarea în triunghi este racordat un compensator sincron.

sarcină inductivă ——— sarcină capacitivă

un punct de pe unul din cercuri și centrul axelor de coordonate $P_R \times Q_R$ nu reprezintă puterea admisă de vreuna din înfășurări [$S_{admis\ max}$ (serie, comună) $= S_{tip}$], ci reprezintă puterea permisă $(P_R^2 + Q_R^2)^{1/2}$ pe partea de recepție (MT aici) din punctul de vedere numai al înfășurării respective și poate fi $\leqslant S_n$. Dar în final trebuie ținut seama de restricțiile impuse de ambele înfășurări, serie și comună, astfel că domeniul rezultat conține numai puncte pentru care $S \leqslant S_n$ în oricare din figurile 4 și 5. Reluînd ipotezele de funcționare simultană a celor trei înfășurări, ca și cazul regimului ridicător, se obține :

I p o t e z a I

a) Regimul de generator racordat pe înfășurarea în Δ (fig. 5 *a*) corespunde primului semn din sistemul de ecuații (12). Domeniul admis de funcționare inductivă pe partea receptoare de MT, notat cu (Δ_1), rezultă din intersecția cercurilor O_S (Q_T, P_T) și $O_c(-\beta Q_T, -\beta P_T)$. Se observă că domeniul este mai restrîns, comparat cu același caz numeric în varianta autotransformator ridicător (fig. 4, domeniul Δ_1).

O observație interesantă este aceea că, dacă puterea injectată pe terțiar crește, $S_T \leqslant \alpha S_n$, atunci, la limită, cînd $S_T = \alpha S_n = 170$ MVA, puterea $S_M = S_R = \alpha S_n$, înregistrînd un minim din condiția de a nu supraîncărca înfășurarea comună. Deși pare paradoxal, cu cît descărcăm terțiarul, puterea recepționată pe MT crește de la $\alpha S_n = S_{tip}$ la S_n. Acest regim nu este justificat decît atunci cînd este neapărată nevoie de putere $S_R > S_{tip}$; altfel este neeconomic să descărcăm grupul electrogen.

De aceea se vede că regimul de autotransformator coborîtor este mai slab. În exemplul numeric ales, $S_T < S_{tip}$, și din această cauză domeniile ($\Delta_{1,2}$) permise conțin puncte $S_R > S_{tip}$.

Domeniul (Δ_2) rezultă imediat pentru regimul subexcitat (capacitiv) al generatorului. Aici, spre deosebire de cazul similar din regimul de autotransformator ridicător (A.I-a), funcționarea mașinii în regim inductiv lărgește zona de funcționare capacitivă permisă pe bornele receptoare de MT, și invers. Zona capacitivă de funcționare pe partea de MT, la funcționarea în regim de generator supraexcitat pe terțiar, este limitată de înfășurarea serie, iar în regimul de generator subexcitat limitarea este dată de înfășurarea comnă (invers față de cazul similar din regimul de autotransformator ridicător).

Trecerea de la regimul de generator supraexcitat la cel de generator subexcitat se face simplu : semnul abscisiei centrului cercului O_S, care trece astfel în cercul de centru O'_S.

b) Regimul de absorbție de putere pe terțiar. În acest regim, înfășurarea-serie este susceptibilă de suprasarcină ; același lucru s-ar

întîmpla cu înfășurarea comună în lipsa sarcinii terțiare.

Domeniul permis penru S_R de pe MT nu s-a lărgit sensibil față de cazul cu generator, doar centrele O_S, O_C și-au schimbat reciproc poziția cu originea. Din această cauză, o lărgire a zonei de un anumit caracter a funcționării pe partea receptoare de MT este favorizată de funcționarea cu același caracter a sarcinii terțiare etc.

c) Regimul de compensator sincron ($P_T = 0$) (fig. 5 *c*) permite sporirea puterii recepționate pe MT atunci cînd $Q_T \to 0$. Deoarece β este destul de mic în exemplul ales, domeniile de funcționare supraexcitată sau subexcitată pe terțiar sînt apropiate.

Funcționarea capacitivă pe bornele receptoare de MT este limitată de înfășurarea comună sau serie, după cum compensatorul este sub sau supraexcitat.

Ipoteza II

Cu ocazia variației raportului de transformare K, din sistemul de ecuații (11) doar cercul înfășurării comune este afectat. Deoarece

$$1 - \alpha = M/(I - M) = 1/(K - 1),$$

rezultă că la variația într-un sens a raportului de transformare K se obține o variație de sens contrar a lungimii segmentului $\overline{O_S\ O_C}$, care unește centrele celor două cercuri. Pentru o scădere a raportului K va rezulta o scădere a domeniului de funcționare, deci limitări mai mari în capacitatea de transport la MT (datorită înfășurării comune). Cu cît K crește, cu atît cercurile înfășurărilor comună și serie sînt mai apropiate, reducîndu-se limitările în capacitatea de transport la MT.

Ipoteza III.

Pentru menținerea lui $K = \text{const.} = K_n$, se presupune că a fost nevoie de modificarea ploturilor de reglaj ale busterului, ajungîndu-se pe plotul maxim de 15% în urma variației mai mari a tensiunii în rețea, astfel că pentru reglaj pe terțiar acum se absorb 60 Mvar. Cu această ocazie, centrele cercurilor se modifică astfel :

$$\begin{aligned} O_S\,[\pm (Q_T - Q_{buster}),\ \pm P_T] &= \\ = O_S\,(\pm 15,\ \pm 100) & \\ O_C\,[\mp \beta(Q_T - Q_{buster}),\ \mp \beta P_T] &= \\ = O_C\,(\mp 20,\ \mp 135) & \end{aligned} \qquad (13)$$

Examinînd coordonatele (13), rezultă o apropiere a cercurilor, indiferent de regimul de generator ori motor sincron conectat la înfășurarea în Δ, deci o creștere a domeniului de funcționare posibilă a puterii S_R. O apropiere a centrelor cercurilor de axa puterilor culese la MT ($O - P_{MT}$) realizează o mai bună echilibrare a posibilităților de funcționare capacitivă/inductivă.

În rezumat, pentru cele două regimuri de funcționare cu sarcină simultană pe cele trei înfășurări, se reține relațiile

RIDICĂTOR

$$\underline{S}_S = \alpha(P_R + jQ_R)$$

$$\underline{S}_C = (\alpha P_R \mp P_T) + j(\alpha Q_R \mp Q_T)$$

CNBORÎTOR

$$\underline{S}_S = \alpha\,[(P_R \mp P_T) + j(Q_R \mp Q_T)]$$

$$\underline{S}_C = [\alpha P_R \pm (1 - \alpha)P_T] + j[\alpha Q_R \pm (1 - \alpha)Q_T]$$

unde semnul dublu corespunde regimului de injecție de putere (generator supraexcitat), respectiv de absorbție de putere de pe terțiar (motor sincron subexcitat).

Pentru cazul în care se dispune și de reglaj sub sarcină, în relațiile de mai sus Q_T va fi diminuat cu valoarea puterii reactive absorbită de buster pe plotul de reglaj respectiv.

Cazurile particulare pentru care există doar circulație de putere $I - M$, sau numai sarcină terțiară, rezultă imediat din expresiile generale de mai sus, anulînd pe rînd S_T sau S_R sau componente ale lor.

Folosirea diagramei cercurilor prezintă cîteva avantaje remarcabile în determinarea precisă a puterii nominale a autotransformatorului.

Este simplu a intersecta două cercuri de rază constantă.

În acest fel, metoda este rapidă, oferind în același timp domeniul maxim posibil pentru care cel puțin una din înfășurările tip autotransformator atinge puterea de tip.

Este mai ușor de a trasa în acest fel domeniul decît de a-l deduce din însumare de segmente de lungime și unghi variabil, așa cum se indică în lucrarea [3].

Metoda intersecției cercurilor a fost prezentată în lucrarea [4], dar numai pentru cazul autotransformatorului de sistem la care terțiarul participă strict la fluxul de putere reactivă.

În lucrarea de față s-a încercat generalizarea cazului de folosire a autotransformatorului pentru situația complexă în care se face tranzit de putere la toate înfășurările. Pe de altă parte, s-au trecut în revistă trei ipoteze de bază, care, în concepția autorilor acestei lucrări, acoperă multitudinea de situații întîlnite în practică. Se pledează pentru racordarea generatorului pe terțiar, soluție încă timid folosită chiar pe plan mondial.

Astăzi, cînd aparatajul s-a perfecționat foarte mult, în special fiabilitatea și volumul între-

ruptorului greu de la bornele mașinii s-au îmbunătățit remarcabil [7]. S-a diminuat mult pericolul scoaterii din funcțiune a autotransformatorului datorită unor incidente în instalația conectată la înfășurarea în Δ.

Folosirea autotransformatorului în schemele de conexiuni ale centralelor electrice

Autotransformatorul se poate folosi în schemele centralelor electrice pentru interconectarea a două bare de tensiune al căror raport nu întrece cu mult raportul 1/3 (fig. 6 *a*), terțiarul avînd rolul doar de a diminua valoarea

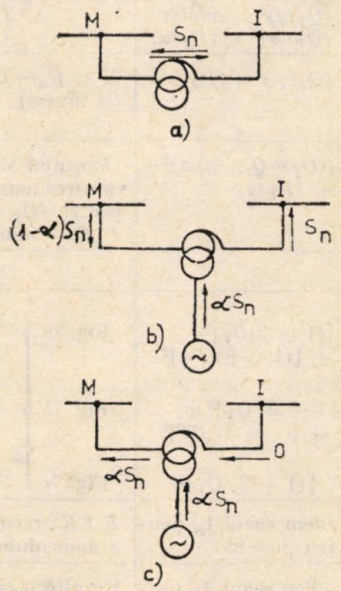


Fig. 6. Cazuri tipice de circulații de putere prin autotransformator:
a — interconectarea rețelelor de medie și înaltă tensiune cu regim de ridicător sau coborîtor; *b* — regimul combinat de ridicător; *c* — regimul combinat de coborîtor (defavorabil).

reactanței X_0 și de a suprima armonica de ordinul trei, cu toate avantajele oferite față de un transformator obișnuit, exprimate de coeficientul de avantaj α. Folosirea autotransformatorului în regimul combinat, cînd și terțiarul poate prelua sarcina unui grup sau a serviciilor interne (fig. 6 *b* și *c*), adaugă avantajelor de mai sus și pe acela al reducerii considerabile a volumului de investiții prin suprimarea unor transformatoare-bloc.

Se dă un exemplu concludent în figurile 7 *a* și *b*, după [2], în care sînt examinate pe larg avantajele certe ale schemei din figura 7 *b* față de figura 7 *a*.

Trebuie relevat totuși că, ori de cîte ori este posibil, se va prefera în punctul de dispecer teritorial respectiv regimul de ridicător, față de cel coborîtor, unde puterea de pe IT se reduce treptat, odată cu creșterea injecției de putere de pe terțiar (fig. 6 *b* și *c*).

Într-adevăr, examinînd ultimele relații din paragraful precedent, pentru regimul coborîtor:

$$S_c = \alpha S_R + (1 - \alpha)\, S_T,$$

făcînd pe $S_T = S_{Tmax} = \alpha S_n$ și pentru puterea maximă a înfășurării comune $S_c = S_{cmax} = \alpha S_n$, rezultă:

$$S_R = \alpha S_n,$$

adică puterea maximă recepționată pe MT nu întrece puterea de tip, cînd se face transferul de putere de pe terțiar pe MT pentru $S_T = S_{tip}$. În acest caz, puterea posibilă de transportat de la IT spre MT este nulă (fig. 6 *c*).

Pentru regimul de ridicător de tensiune

$$S_S = \alpha S_R \qquad S_c = \alpha S_R - S_T$$

$$S_{Smax} = \alpha S_n = S_{tip} \qquad S_{cmax} = \alpha S_n - \alpha S_n = 0$$

Deci, nedepășind puterea de tip pentru înfășurarea-serie, se poate recepționa puterea $S_R = S_n$ la borna IT, terțiarul fiind încărcat la puterea de tip; rezultă că de pe MT se poate injecta de asemenea puterea $(1-\alpha)\, S_n$ (fig. 6 *b*).

Observație. S-a renunțat la un calcul de fiabilitate în cazul autotransformatoarelor mari, care să reflecte structura zonală, dispozițiile de plan general centrală — stație de evacuare a energiei, în vederea studierii gradului de siguranță în funcționarea sistemului electroenergetic în care schemele de conexiuni ale centralelor includ autotransformatoare. Aceasta deoarece, la apariția unui defect într-una din rețele,

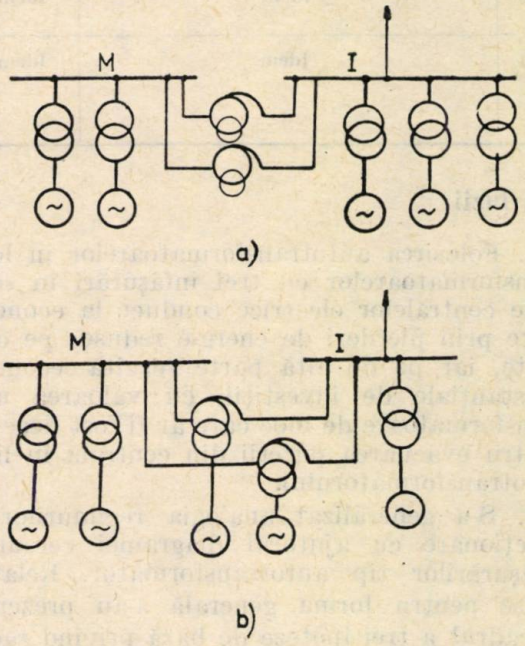


Fig. 7. Scheme electrice de conexiuni pentru centrale:
a — care folosesc autotransformatoare numai pentru interconexiune; *b* — care folosesc autotransformatoare atît pentru interconexiune cît și pentru evacuarea puterii, cu economisirea unor transformatoare de bloc.

se continuă evacuarea puterii în cealaltă rețea; la apariția unei avarii în centrala electrică, aceasta se separă prin cuplor de autotransformatorul care interconectează cele două rețele.

Gradul de fiabilitate nu se reduce dacă protecţia prin relee este prevăzută şi reglată corect.

Referitor la regimurile de exploatare admisibilă a autotransformatoarelor, se dă mai jos, într-o formă tabelară, rezumatul discuţiei, în cadrul celor trei ipoteze de bază luate în considerare, şi anume :

I. Busterul de reglaj se află pe plotul median (zero) ; Raportul de transformare este constant, $K = K_n$.

II. Idem, dar $K \neq K_n$, variabil.

III. $K = K_n$, constant, dar busterul de reglaj se află pe ploturile extreme, 1 sau 25.

A. *RIDICĂTOR*

Ipoteze	Ecuaţii (serie/comună)	Regimuri	Limitări tranzit		Segmentul $\overline{O_s O_c^2}$	Observaţii
			reactiv	activ		
I.A.	$S_n^2 = P_R^2 + Q_R^2$ $S_n^2 = (P_R \mp P_T/\alpha)^2 + (Q_R \mp Q_T/\alpha)^2$	$P_T > 0$ $P_T = 0$ $P_T < 0$	C, cap. Idem Idem	S, ind. Idem C, ind.	$(Q_T/\alpha)^2 + (P_T/\alpha)^2$ $(Q_T/\alpha)^2 =$ minim $(Q_T/\alpha)^2 + (P_T/\alpha)^2$	Domeniul (Δ_1), fig. 6 ,, (Δ_2) ,, ,, (Δ^3) ,,
II.A	Idem	Idem	Idem, mai accentuat	Idem, mai puţin accentuat	$(Q_T/\alpha')^2 + (P_T/\alpha')^2$	$K < K_n \rightarrow \overline{O_s O_c} \downarrow$, $(\Delta) \nearrow$ (şi invers)
III.A	Idem	Idem	Idem, mai puţin	S, ind. + cap.	$((Q_T - Q_{reglaj})/\alpha)^2 + (P_T/\alpha)$	Domeniul se apropie de valoarea maximă (cercul S) pentru $(Q_T - Q_{reglaj})/\alpha$ şi $P_T/\alpha \rightarrow$ minim
B. *COBORÎTOR*						
I.B	$S_n^2 = (P_R \mp P_T)^2 + (Q_R \mp Q_T)^2$ $S_n^2 = \{P_R \pm [(1-\alpha)/\alpha]\, P_T\}^2 + \{Q_R \pm [(1-\alpha)/\alpha]\, Q_T\}^2$	$P_T > 0$ supraex subex.	S, cap C, ind C, cap S, ind	C Idem	$[(1 \pm \beta) Q_T]^2 + [(1 + \beta) P_T]^2$	Fig. 7*a* Fig. 7*b* Fig. 7*c* Comparînd cu regimurile precedente, se vede că regimul coborîtor este dezavantajos
		$P_T < 0$	Idem	S	$[1 \pm \beta) Q_T]^2 + [(1 - \beta) PT]^2$	
		$P_T = 0$	Idem	$S+C$	$[(1 + \beta) Q_T]^2$	
II.B	Idem	Idem	Idem I_B C în special		Idem cazul I_B pentru $\beta = \beta'$	$K \nearrow K'$, rezultă o creştere a domeniului
III.B	Idem	Idem	Idem I_B, dar mai puţin accentuat		Idem cazul I_B pentru $Q_T = Q_T$, $Q'_T = Q_T - Q_{buster}$	Rezultă o creştere a domeniului maxim admis

Concluzii

1. Folosirea autotransformatoarelor în locul transformatoarelor cu trei înfăşurări în schemele centralelor electrice conduce la economii certe prin pierderi de energie reduse, pe de o parte, iar pe de altă parte rezultă economii substanţiale de investiţii, cu valoarea unor transformatoare de bloc care ar fi fost necesare pentru evacuarea puterii din centrală în lipsa autotransformatorului.

2. S-a generalizat analogia regimurilor de funcţionare cu ajutorul diagramei cercurilor înfăşurărilor tip autotransformator. Relaţiile scrise pentru forma generală s-au prezentat în cadrul a trei ipoteze de bază privind racordarea la bornele terţiarului a unui generator, compensator sincron, sau motor sincron (consumator de energie).

S-a analizat variaţia domeniului de funcţionare în ipoteza variaţiei raportului de transformare şi în ipoteza intervenţiei busterului de reglaj, în regim ridicător sau coborîtor.

3. În toate cazurile s-a încercat o singură metodă de analiză : variaţia domeniului posibil al fazorului puterii recepţionate S_R pe înaltă (ridicător) sau pe medie tensiune (coborîtor), funcţie de injecţia de putere pe terţiar, ţinînd seamă de factorul de putere.

4. S-au studiat regimurile preferenţiale de funcţionare simultană a celor trei înfăşurări, luînd ca suport de calcul numeric autotransformatorul cu reglaj combinat longotransversal de 400/400/170 MVA, 400/231/22 kV, instalat în staţia CET Bucureşti-Sud, pentru care s-au subliniat avantajele folosirii în schemă prin preluarea unui grup al centralei pe înfăşurarea în triunghi. S-a evidenţiat regimul de funcţionare combinată ca autotransformator ridicător.

5. Discuţia prezentată în lucrare, generalizată şi cu exemplificările numerice, poate servi inginerilor de sistem în calculul circulaţiei de puteri, în stabilirea corectă a puterii autotransformatoarelor, a aparatajului necesar la cele trei tensiuni, în esenţă la obţinerea unor economii substanţiale de energie şi investiţii în centralele electrice ale sistemului electroenergetic.

Bibliografie

[1] * * * *Transformateurs type PDTG et autotransformateurs type AODTTG et ODTGA, de puissance, monophasés, pour tension de 500 kV.* Vnestorgizdat, Zakaz nr. 010295, 7/834 (Documentație de fabricație).

[2] Selischi, Al. și Guzun, B. *Folosirea autotransformatoarelor în schemele centralelor electrice.* În: Energetica 21, nr. 2, 1973, p. 137—147.

[3] Eric, T. B. Gross și Pohlman, C. J. *Rating of autotransformers for system interconnection.* În: AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems nr. 2, 1958, p. 1236—1244.

[4] Ionescu S., Cristovici, A. și Bogdan, A. *Regimuri admisibile de funcționare și scheme echivalente ale autotransformatoarelor de 400/231 kV.* În: Studii și cercetări de energetică și electrotehnică, 23, nr. 3, p. 729—757.

[5] Maréchal, A. și Weber, J. C. *Demarrage asynchrone d'un alternateur-moteur de 64 MVA destiné à l'installation de Sainte-Croix.* În: RGE 86, nr. 9, 1977, p. 685—690.

[6] Bergognan, P. și Leclerq, M. *Les alternateurs-moteurs de l'usine de Sainte-Hélène.* În: RGE, 86, nr. 9, 1977, p. 691—695.

[7] * * * *Gekapselte Generatorschalter Typ D.R.* Verkaufsabteilung AGV 1. Brown-Boveri & Cie, Baden/Schweiz.

(Articol intrat în redacție la 14 martie 1978)

Premise teoretice ale Instrucțiunii privind alegerea în proiectare și înlocuirile ulterioare în exploatare ale transformatoarelor din posturi

Conf. dr. ing. **P. Buhuș**[*)]

1. Elemente inițiale

La etapa actuală, în majoritatea cazurilor se consideră indicat, din punct de vedere economic, ca posturile să fie echipate cu un singur transformator. Un număr mai mare de unități se prevede doar în unele cazuri, cînd îl impun condițiile de siguranță în alimentare sau atunci cînd consumul din zona înconjurătoare depășește puterea maximă a unităților pe care le pot furniza fabricile constructoare.

Mărimea vîrfurilor anuale de sarcină din posturi se presupune ca fiind cunoscută: în proiectare, pe bază de estimări, iar în exploatare ca rezultat al unor măsurători.

Analiza se referă la ansamblul compus din toate treptele de puteri nominale ale unei serii de transformatoare, concepute pe baza unui sistem unitar de premise. În astfel de cazuri, conform teoriei generale a transformatorului [1], valorile pierderilor de mers în gol și în scurtcircuit, precum și masele de material activ se grupează în jurul unor caracteristici care variază cu $S_n^{3/4}$. Cu abateri ceva mai mari, același model de variație va fi adoptat și pentru costul transformatoarelor.

Ca criteriu de eficiență economică urmează să fie folosit criteriul minimului cheltuielilor actualizate totale (CAT). Rata anuală de actualizare, conform PE 011/75 [2] și practicii comisiilor CIGRE [3], se consideră $a = 8\%$. Cheltuielile [4], [5] vor însuma costul transformatorului, costul pierderilor de mers în gol în ipoteza unei funcționări fără deconectări, precum și costul pierderilor în bobinaje, care urmează a fi calculat cu ajutorul timpului anual de pierderi, definit, de relația:

$$\tau = 8760(0{,}124 + T_M 10^{-4})^2. \qquad (1)$$

2. Lista principalelor notații utilizate în lucrare

C — costul transformatorului
C_{opt} — costul transformatorului cu putere nominală optimă corespunzătoare unui minim al cheltuielilor actualizate totale
CAT_N — cheltuieli, în mărimi actuale, totalizate pe o durată de N ani
CPW — costul pierderilor de putere și de energie;
$c = C/S_n^{3/4}$
c_{br} — costul în valori actuale al pierderii unității de putere în bobinaje, corespunzător primului din cei N ani ai unei durate în care vîrfurile anuale sînt în creștere cu o rată r
c_{Fe} — costul în valori actuale al pierderii unității de putere în fier o durată de N ani
c_{ic} — costul specific al puterii instalate în centrala de echivalare
k_V — coeficientul economic de încărcare la vîrfuri constante în timp
k_{Vi} și k_{Vf} — valoarea inițială și cea finală pentru un interval economic de creștere a încărcărilor anuale de vîrf
N — numărul de ani al unei perioade de folosire economică a transformatorului într-un anumit post
P_k — pierderile în scurtcircuit
P_0 — pierderile în gol
p — prețul specific mediu al energiei pierdute în posturile de transformare
$p_k = P_k/S_n^{3/4}$
$p_0 = P_0/S_n^{3/4}$;
r — rata de creștere a vîrfurilor anuale de sarcină tranzitate prin transformator
S_n — puterea nominală a transformatorului
S_V — puterea tranzitată la vîrful anual de sarcină
T_M — numărul anual de ore de utilizare a puterii maxime
T_N — valoarea actualizată a duratei N de folosire economică a transformatorului într-un anumit post
W — pierderi de energie

3. Încărcările economice în cazul vîrfului anual de sarcină constant în timp

În această ipoteză, cheltuielile exprimate în valori actuale și însumate pe o perioadă de 30 ani, cît reprezintă actualmente durata de

*) Dr. ing. Pavel Buhuș este conferențiar la Institutul politehnic București, Facultatea de energetică.

serviciu normată pentru transformatoare [4], pot fi scrise sub forma :

$$CAT_{30} = C + P_0 c_{Fe} + P_k c_b \left(\frac{S_V}{S_n}\right)^2, \quad (2)$$

în care

$$c_{Fe} = c_{ic} + 8760\, p\, T_{30} \quad (3)$$

$$c_b = c_{ic} + p\, T_{30} \tau \quad (4)$$

Exprimînd costul şi pierderile transformatorului în funcţie de puterea sa nominală, relaţia (2) devine :

$$CAT_{30} = (c + p_0 c_{Fe}) S_n^{3/4} + p_k c_b \frac{S_V^2}{S_n^{3/4}} \quad (5)$$

Pentru a determina puterea nominală optimă la care s-ar obţine minimul cheltuielilor actualizate totale :

$$\frac{d\, CAT_{30}}{d\, S_n} = \frac{1}{4 S_n^{1/4}} \left[3(c + p_0 c_{Fe}) - \right.$$

$$\left. - 5 p_k c_b \left(\frac{S_V}{S_n}\right)^2 \right] = 0 \quad (6)$$

Încărcarea optimă la vîrfurile anuale rezultă :

$$k_V = \frac{S_n}{S_{n\,opt}} = \sqrt{\frac{3}{5} \cdot \frac{c + p_0 c_{Fe}}{p_k c_b}} \quad (7)$$

Avînd în vedere expresiile (3) şi (4), în final se obţine următoarea relaţie de calcul al încărcărilor optime la vîrfurile anuale de sarcină :

$$k_V = 0{,}775 \sqrt{\frac{c + p_0 (c_{ic} + 8760\, p\, T_{30})}{p_k (c_{ic} + p\, T_{30}\, \tau)}} \quad (8)$$

4. Influenţa creşterii costului păcurii şi al pierderilor de energie asupra încărcărilor economice

Cu ajutorul relaţiei (8) şi al parametrilor actualei noastre serii de transformatoare în ulei pentru posturi, au fost calculate caracteristicile reprezentate în figura 1. Toate caracteristicile corespunzătoare diferitelor valori specifice p ale preţului pierderilor de energie trec printr-un acelaşi punct Q, în care derivata $dk_V/dp = 0$. Această condiţie permite determinarea abscisei punctului Q :

$$\tau_Q = \frac{8760\, p_0 c_{ic}}{c + p_0 c_{ic}} \quad (9\,a)$$

şi, conform relaţiei (1), a numărului corespunzător de ore de utilizare anuală a puterii maxime

$$T_{MQ} = 10^4 \sqrt{\frac{\tau_0}{8760} - 1240} \quad (9\,b)$$

Valoarea ordonatei punctului Q se poate obţine cu ajutorul relaţiei (8) pentru preţul specific al pierderilor $p = 0$:

$$k_{VQ} = 0{,}775 \sqrt{\frac{c + p_0 c_{ic}}{p_k c_{ic}}} \quad (9\,c)$$

Odată cu creşterea preţului specific p al pierderilor de energie, gradul optim de încărcare la vîrf scade sau, respectiv, se măreşte,

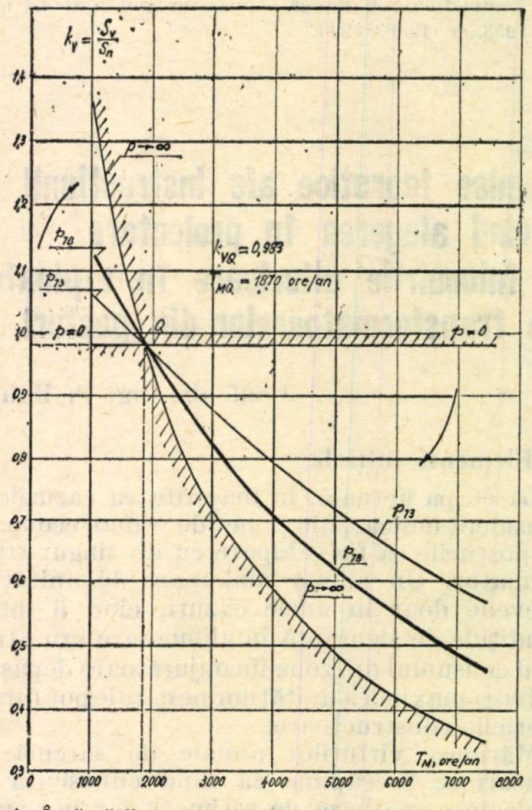


Fig. 1. Încărcările economice la vîrf anual constant pentru actuala noastră serie de transformatoare cu ulei şi diferite valori în timp ale preţului specific al pierderilor p.

după cum numărul anual de ore al puterii maxime tranzitate prin post este mai mare sau, respectiv, mai mic decît T_{MQ} definit de relaţia (9 *b*).

În ipoteza unui minim al cheltuielilor actualizate totale, domeniul teoretic de variaţie a încărcărilor optime la vîrf din figura 1 este mărginit de două caracteristici-limită. Una dintre aceste caracteristici corespunde preţului specific al pierderilor de energie $p = 0$ şi este reprezentată prin dreapta definită de relaţia (9 *c*).

Cea de-a doua caracteristică-limită corespunde unui preţ specific al pierderilor de energie care ar tinde să devină infinit de mare. În această ipoteză, relaţia (8) devine :

$$k_V = 0{,}775 \sqrt{\frac{8760\, p_0}{p_k\, \tau}} \quad (9\,d)$$

Considerăm util de subliniat faptul că relaţia (9 *d*) defineşte încărcarea optimă la vîrf în cazul în care criteriul de eficienţă devine minimul pierderilor de energie în transformatoarele din posturi.

Pe lîngă cele două caracteristici care delimitează domeniul minimului cheltuielilor actualizate totale, în figura 1 s-au mai trasat două caracteristici intermediare. Una dintre acestea, notată cu p_{78}, corespunde costului pe piaţa mondială al combustibilului marginal la începutul anului 1978. Cealaltă caracteristică, notată cu p_{73}, corespunde unui cost de patru ori mai mic al combustibilului marginal, valoare care se înregistra pe piaţa mondială în anul 1973.

Conform figurii 1, caracteristica actuală p_{78} se situează în zona mediană dintre caracteristica p_{73} şi, respectiv, caracteristica corespunzătoare unui preţ al păcurii care ar tinde către valori foarte ridicate. Ca urmare, putem trage concluzia că, în raport cu efectul pe care l-au avut scumpirile combustibilului marginal din ultimii cinci ani, eventuale noi scumpiri ale acestuia pe piaţa mondială ar urma să contribuie într-o măsură mult mai mică la reducerea încărcărilor economice ale transformatoarelor noastre cu ulei.

5. Încărcările economice în ipoteza vîrfului anual de sarcină în creştere cu o rată r

În ţara noastră, ca şi în multe alte ţări, raportul dintre treptele succesive de puteri nominale ale seriei de transformatoare pentru posturi are o valoare de ordinul $1{,}6 \approx (10)^{1/5}$. În lume există însă şi unele fabrici constructoare care pentru acelaşi raport au adoptat valoarea $1{,}25 \approx (10)^{1/10}$.

Pentru cazul ţării noastre vom presupune deci că un transformator urmează să fie menţinut într-un anumit post un număr de ani, pînă cînd gradul său de încărcare la vîrf se măreşte de circa 1,6 ori faţă de valoarea k_{Vi}, indicată din punct de vedere economic pentru primul an după instalare. La această etapă, după înlocuirea sa cu o unitate de putere imediat superioară, transformatorul considerat urmează a fi instalat într-un alt post în care va rămîne o nouă perioadă de exploatare economică.

Numărul N de ani al unuia dintre aceste intervale de folosire economică a transformatorului depinde de valoarea ratei r de creştere a vîrfurilor anuale în perioada respectivă, putînd fi determinat cu ajutorul relaţiei:

$$(1 + r)^N = 1{,}6 \qquad (10\ a)$$

sau — în cazuri mai rare — cu relaţia

$$(1 + r)^N = 1{,}25 \qquad (10\ b)$$

În valori actuale, fracţiunea C_N din costul iniţial C al transformatorului corespunzătoare primilor săi N ani de folosire este proporţională cu mărimea actualizată T_N a acestei durate:

$$C_N = C \frac{T_N}{T_{30}} \qquad (11)$$

Acelaşi mod de calcul urmează a fi folosit şi la determinarea fracţiunii din investiţia necesară pentru instalarea în centrala de echivalare a puterii care va alimenta pierderile din transformator.

Notînd prin S_{Vi} valoarea sarcinii de vîrf iniţiale — din primul an de exploatare — cheltuielile în valori actuale însumate pe o perioadă de N ani pot fi exprimate cu ajutorul relaţiei:

$$CAT_N = \frac{T_N}{T_{30}} \left[C + P_0 c_{Fe} + P_k c_{br} \left(\frac{S_{Vi}}{S_n} \right)^2 \right] \qquad (12)$$

Costul specific corespunzător pierderilor de putere din bobinaje în ipoteza unei rate r de creştere a vîrfurilor anuale de sarcină

$$c_{br} = c_{ic} + p T_{30}\, \tau\, M_r, \qquad (13)$$

în care

$$M_r = \frac{1}{(1 + a)\, T_N} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{(1 + r)^{2j}}{(1 + a)^j} \qquad (14)$$

Pentru o rată de creştere $r = 0$ şi o durată $N = 30$ ani, multiplul $M_r = 1$. Prin urmare, rezultă că în aceste condiţii relaţiile (4) şi respectiv (2) sînt cazuri particulare ale relaţiilor (13) şi respectiv (12).

Parcurgînd etapele corespunzătoare relaţiilor (5) şi (6), în final se obţine o formă generalizată a relaţiei (8), cu ajutorul căreia poate fi calculată valoarea iniţială — pentru primul an după instalare — a încărcării la vîrf indicate din punct de vedere economic:

$$k_{Vi} = 0{,}775 \sqrt{\frac{c + p_0 (c_{ic} + 8760\, p T_{30})}{p_k (c_{ic} + p\, T_{30}\, \tau\, M_r)}} \qquad (15)$$

Pentru seria noastră actuală, valoarea încărcării la vîrf finale, în apropierea căreia devine indicată înlocuirea cu o treaptă de putere imediat superioară, se determină prin produsul

$$k_{Vf} = 1{,}6\, k_{Vi} \qquad (16)$$

Pe baza datelor din tabelul 1 rezultă că pentru rate r de creştere a vîrfurilor anuale şi respectiv durate N de folosire a transformatorului în acelaşi post, care variază în limite foarte

largi, valorile multiplului M_r se menţin în cadrul unui domeniu de variaţie restrîns. Ca urmare, pentru seriile de transformatoare cu puterile nominale succesive în raportul 1,6 s-a adoptat valoarea constantă $M_r = 1{,}47$.

Tabelul 1

Valorile multiplilor M_r şi m_r pentru diferite rate r de creştere ale vîrfurilor anuale de sarcină

r %	$\frac{k_{Vf}}{k_{Vi}}$	N ani	T_N ani	M_r	m_r
0	1,000	30	11,25	1,00	1,00
2	1,576	23	10,37	1,43	1,59
4	1,601	12	7,54	1,47	1,58
6	1,594	8	5,75	1,48	1,57
8	1,587	6	4,62	1,47	1,51
10	1,610	5	3,99	1,47	1,50
12	1,574	4	3,31	1,42	1,44
17	1,601	3	2,58	1,38	1,41

În tabelul 2, precum şi în cadrul figurilor 1 şi 2 sînt sintetizate rezultatele calculelor privind limitele intervalelor economice de creştere ale încărcărilor anuale la vîrf, în cazul transformatoarelor cu ulei din actuala noastră serie cu puterile nominale în raportul 1,6.

Tabelul 2

Limitele economice ale gradului de încărcare la vîrf pentru transformatoarele în ulei din actuala noastră serie cu treptele de puteri nominale în raportul 1,6

Ipoteza de optimizare			Numărul anual de ore de utilizare a puterii de vîrf										
			1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	7500
Minim CAT	$r = 0$	k_V	1,13	1,04	0,96	0,88	0,82	0,76	0,71	0,62	0,54	0,49	0,46
	$r = 2 \ldots 17\%$	k_{Vi}	1,05	0,95	0,86	0,78	0,71	0,66	0,60	0,52	0,46	0,41	0,39
	$M_r = 1{,}47$	k_{Vf}	1,67	1,52	1,38	1,25	1,14	1,06	0,96	0,84	0,74	0,65	0,62
Minim CPW	$r = 0$	k_V	0,84	0,77	0,72	0,66	0,61	0,57	0,53	0,46	0,40	0,36	0,34
	$r = 2 \ldots 17\%$	k_{Vi}	0,78	0,71	0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,39	0,34	0,30	0,29
	$M_r = 1{,}47$	k_{Vf}	1,25	1,13	1,03	0,93	0,85	0,79	0,72	0,62	0,55	0,48	0,46
Minim W	$r = 0$	k_V	1,36	1,12	0,94	0,81	0,72	0,64	0,58	0,49	0,42	0,37	0,35
	$r = 2 \ldots 10\%$	k_{Vi}	1,09	0,89	0,75	0,65	0,58	0,52	0,47	0,39	0,34	0,30	0,28
	$m_r = 1{,}55$	k_{Vf}	1,75	1,43	1,20	1,04	0,93	0,83	0,75	0,62	0,55	0,48	0,45

6. Cheltuielile suplimentare în cazul utilizării unor transformatoare cu puteri nominale diferite faţă de optimul teoretic corespunzător minimului CAT

Pornind de la relaţia (2) sau, mai general, de la relaţia (12), vom scrie expresia cheltuielilor actualizate pe întreaga durată a celor 30 ani de exploatare. Folosind exprimarea în raport cu costul C al transformatoruîui de putere S_n utilizat, se obţine relaţia :

$$\frac{CAT}{C} = 1 + \frac{p_0 c_{Fe}}{c} + \frac{p_k c_{br}}{c} \left(\frac{S_{Vi}}{S_n} \right)^2 \qquad (24)$$

În cele ce urmează ne vom referi la parametrii unui transformator care, în cazul sarcinii S_{Vi} considerate, ar funcţiona în condiţii de încărcare optimă. Un astfel de „transformator optim" — de regulă ipotetic — ar avea puterea nominală

$$S_{n\,opt} = \frac{S_{Vi}}{k_{Vi}}. \qquad (25)$$

în care k_{Vi} este definit de relaţia (15), şi costul

$$C_{opt} = c\, S_{n\,opt}^{3/4} \qquad (26)$$

Fie m raportul dintre gradul de încărcare în cazul folosirii unui transformator cu o putere nominală normalizată S_n şi, respectiv, încărcarea optimă din cazul teoretic în care s-ar funcţiona cu transformatorul avînd puterea nominală $S_{n\,opt}$. Ca urmare :

$$\frac{S_{Vi}}{S_n} = m\, k_{Vi} \qquad (27)$$

Totodată, avînd în vedere relaţiile (25) şi (26), mai rezultă :

$$S_n = \frac{S_{n\,opt}}{m} \qquad (28)$$

$$C = \frac{C_{opt}}{m^{3/4}} \qquad (29\,a)$$

Din relaţia (7) sau, respectiv, (15) se mai deduce expresia :

$$k_{Vi}^2 = 0{,}6\, \frac{c + p_0 c_{Fe}}{p_k c_{br}} \qquad (29\,b)$$

Cu ajutorul relațiilor (27) și (29), relația (24) poate fi adusă la forma

$$\frac{CAT}{C_{opt}} = m^{-3/4} + \frac{p_0 c_{Fe}}{c} m^{-3/4} + \\ + 0{,}6\, m^{5/4}\left(1 + \frac{p_0 c_{Fe}}{c}\right) \qquad (30\ a)$$

sau restrîngînd

$$\frac{CAT}{C_{opt}} = \left(1 + \frac{p_0 c_{Fe}}{c}\right)(m^{-3/4} + 0{,}6\, m^{5/4}) \qquad (30\ b)$$

După alegerea unei valori din scala puterilor nominale normalizate, folosind relația (27) se determină mărimea corespunzătoare a factorului m. Cu ajutorul acestui parametru, relațiile (30) permit estimarea cheltuielilor actualizate care se obțin în valori raportate la costul „transformatorului optim", definit prin relația (26).

Pentru o anumită serie de transformatoare și un cost specific al pierderilor dat, minimul teoretic sau, respectiv, valoarea optimă a cheltuielilor actualizate totale se obține în cazul factorului m egal cu unitatea:

$$\frac{CAT_{opt}}{C_{opt}} = 1{,}6\left(1 + \frac{p_0 c_{Fe}}{c}\right) \qquad (31)$$

Făcînd raportul dintre relațiile (30 *b*) și (31), rezultă următoarea relație, valabilă pentru orice serie de transformatoare în ipoteza unor caracteristici care variază cu $S_n^{3/4}$:

$$\frac{CAT}{CAT_{opt}} = 0{,}625\, m^{-3/4} + 0{,}375\, m^{5/4} \qquad (32)$$

Cu ajutorul acestei relații au fost calculate datele din tabelul 3.

Tabelul 3

Creșteri procentuale ale cheltuielilor actualizate totale în cazuri în care se folosesc transformatoare cu puteri nominale diferite față de $S_{n\,opt}$

$\frac{S_n}{S_{n\,opt}}$	1,96	1,60	1,34	1,23	0,815	0,63	0,49
$\left(\frac{CAT}{CAT_{opt}} - 1\right)100\,\%$	19,2	9,5	3,78	2,17	1,67	11,0	27,3

În ipoteza în care puterea optimă determinată cu relația (25) ar rezulta la egală distanță față de două trepte succesive ale scalei de puteri nominale normalizate, opțiunea asupra uneia dintre aceste trepte ar presupune fie o creștere de 1,23 ori, fie o micșorare la 0,815 $S_{n\,opt}$. Ca exemplu vom cita $S_{n\,opt} = 815$ kVA. În cazul ambelor opțiuni, creșterea cheltuielilor ar fi doar de ordinul a 2%.

În schimb, dacă $S_{n\,opt}$ ar rezulta foarte apropiat de o valoare normalizată și totuși s-ar alege o altă treaptă — imediat superioară sau inferioară — creșterea cheltuielilor actualizate totale s-ar ridica la 9,5 ... 11%.

Revenind la primul caz, în care $S_{n\,opt}$ se considera echidistant față de două trepte succesive ale scalei puterilor normalizate, de această dată vom lua în considerare ipoteza alegerii unei puteri nominale la 1,5 trepte distanță față de optimul teoretic. Astfel, în cazul $S_{n\,opt} = 815$ kVA și alegerea unui trafo 1600 kVA sau, respectiv, 400 kVA, creșterea cheltuielilor totale s-ar putea ridica pînă la 19... 27%.

Pentru o analiză mai detaliată vom folosi relația (30 *a*), care a fost astfel prezentată încît să fie puși în evidență trei termeni aditivi cu următoarele semnificații:

— costul transformatorului

$$\frac{C}{C_{opt}} = m^{-3/4} \qquad (33)$$

— costul total, în valori actuale, al pierderilor în fier

$$\frac{C_{Fe}}{C_{opt}} = \frac{p_0 c_{Fe}}{c} m^{-3/4} \qquad (34)$$

— costul total, în valori actuale, al pierderilor în bobinaje

$$\frac{C_b}{C_{opt}} = 0{,}6\, m^{5/4}\left(1 + \frac{p_0 c_{Fe}}{c}\right) \qquad (35)$$

În tabelul 4 sînt prezentate valorile care se obțin cu relațiile (33), (34) și (35) pentru actuala noastră serie de transformatoare cu ulei, în ipoteza $m = 1$.

Tabelul 4

Componentele cheltuielilor totale minime CAT_{opt} în cazul actualei noastre serii de transformatoare cu ulei și $S_n = S_{n\,opt}$

Costuri	Valori	
	raportate la C_{opt}	%
Transformatorul	1,00	27,8
Pierderile în fier	1,25	34,7
Pierderile în bobinaje	1,35	37,5
CAT_{opt}	3,60	100,0

Cu ajutorul elementelor de mai sus, în cadrul tabelului 5 au fost detaliate componentele a căror sumă algebrică conduce la creșterile

totale de cheltuieli determinate anterior, în tabelul 3.

Pe baza datelor din tabelul 5 se pot face cîteva observaţii cu privire la modul în care abaterile faţă de $S_{n\,opt}$ influenţează investiţia şi, respectiv, costul pierderilor. Astfel, în unele cazuri se exprimă părerea că pentru reducerea pierderilor ar fi indicată folosirea unor transformatoare cu puteri mai ridicate. Conform datelor din tabelul 5, adoptarea unor puteri nominale mai mari decît $S_{n\,opt}$ presupune în primul rînd o creştere a costului pierderilor în fier care, la diferenţe de ordinul a 1,5 trepte normalizate, ajung să depăşească economiile obţinute prin reducerea pierderilor în bobinaje. De asemenea, chiar şi în cazul $m = 0{,}745$ — corespunzător unui minim pentru costul actualizat al pierderilor — economiile ar fi relativ mici, iar totalul lor nu ar recupera nici jumătate din efortul de investiţii suplimentare necesar în această ipoteză.

Există însă şi păreri conform cărora, pentru o utilizare mai intensivă a investiţiilor, ar putea fi indicată alegerea unor transformatoare cu puteri mai mici şi deci cu încărcare la vîrf mai ridicată. Conform datelor din tabelul 5, rezultă însă că abaterile faţă de $S_{n\,opt}$ cu 1—1,5 trepte în minus pot deveni prohibitive datorită creşterii foarte rapide a costului pierderilor din bobinaje.

În toate cazurile practice, soluţia cea mai economică o reprezintă utilizarea transformatorului cu puterea nominală cea mai apropiată faţă de valoarea optimă teoretică $S_{n\,opt}$, determinată cu relaţia (25).

7. Concluzii cu privire la condiţiile economice de folosire a transformatoarelor din posturile echipate cu o singură unitate

1. Folosirea economică a tuturor unităţilor unei serii de transformatoare poate fi caracterizată printr-o aceeaşi valoare a încărcării relative la vîrful de sarcină din primul an de exploatare k_{Vi}.

2. Un minim al cheltuielilor actualizate totale poate fi obţinut dacă fiecare transformator este menţinut în cadrul unui acelaşi post atîta timp cît încărcarea sa la vîrfurile anuale este în creştere între valorile definite de relaţiile (15) şi (16).

3. În cazul utilizării în posturi a unor transformatoare cu ulei avînd puteri nominale care diferă cu cel mult o jumătate de treaptă normalizată faţă de optimul teoretic corespunzător minimului cheltuielilor actualizate totale, de regulă creşterea acestor cheltuieli totale nu va depăşi 2%.

4. Pentru transformatoarele cu ulei din actuala noastră serie, cu puterile nominale succesive în raportul 1,6, după unele mici rotunjiri ale datelor din tabelul 2 şi figura 2, pot fi indicate domeniile economice ale încărcărilor la vîrfurile anuale de sarcină redate în tabelul 6.

Tabelul 5

Diferenţe de costuri faţă de componentele cheltuielilor totale minime din tabelul 6

$\frac{S_n}{S_{n\,opt}}$	m	Pierderi			Investiţii	Total
		$\frac{C_{Fe}}{C_{opt}}$	$\frac{C_b}{C_{opt}}$	$\frac{C_{Fe}+C_b}{C_{opt}}$	$\frac{C}{C_{opt}}$	$\frac{CAT}{C_{opt}}$
1,96	0,510	+0,812	−0,770	+0,042	+0,650	+0,692
1,60	0,625	+0,525	−0,600	−0,075	+0,420	+0,345
1,34	0,745	+0,306	−0,415	−0,109	+0,245	+0,136
1,23	0,815	+0,212	−0,304	−0,092	+0,170	+0,078
0,815	1,230	−0,188	+0,398	+0,210	−0,150	+0,060
0,63	1,585	−0,365	+1,050	+0,685	−0,292	+0,393
0,49	2,040	−0,515	+1,945	+1,430	−0,412	+1,018

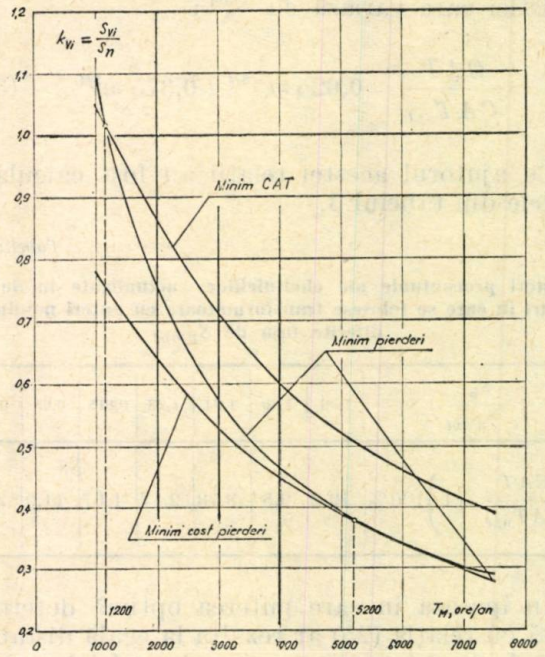


Fig. 2. Încărcări economice iniţiale, pentru vîrfuri anuale în creştere cu rată $r = 2 \ldots 10\%$, pentru actuala noastră serie de transformatoare cu ulei şi trei criterii diferite de optimizare.

Tabelul 6

Criteriul \ T_M ore/an		PT rurale	PT urbane	PT industriale			
		2000	3500	4000	5000	6000	7000
Minim CAT	k_{Vi}	0,85	0,65	0,60	0,50	0,45	0,40
	k_{Vf}	1,35	1,05	0,95	0,80	0,70	0,65
Minim cost pierderi	k_{Vi}	0,65	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	k_{Vf}	1,05	0,80	0,70	0,65	0,55	0,50

5. *La întocmirea instrucțiunii privind alegerea în proiectare și înlocuirile ulterioare în exploatare ale transformatoarelor din posturile echipate cu o singură unitate (vezi anexa) sînt luate în considerare datele din tabelul 6 corespunzătoare minimului cheltuielilor actualizate totale.*

Fac excepție încărcările pentru posturile de tip rural, care s-au considerat egale cu cele corespunzătoare costului minim al pierderilor. În felul acesta, cu o creștere a cheltuielilor actualizate totale care, conform tabelului 3, poate fi de ordinul 3,5—4%, se evită supraîncărcări care, din punctul de vedere al optimului teoretic, ar fi putut să se ridice la 35—40%.

Totodată, pentru toate posturile urbane sau rurale care alimentează consumatori casnici, rezultă avantajul de a fi normate aceleași valori pentru încărcările la vîrfurile anuale de sarcină.

6. Pentru transformatoarele uscate, limitele economice ale încărcărilor la vîrf rezultă mai ridicate decît în cazul transformatoarelor cu ulei.

7. În raport cu efectul pe care l-au avut scumpirile combustibilului marginal din ultimii cinci ani, eventuale noi scumpiri ale acestuia pe piața mondială ar urma să contribuie într-o măsură mult mai mică la reducerea încărcărilor economice ale transformatoarelor noastre cu ulei. Această concluzie rezultă pe baza comparării caracteristicilor din figura 1, care au fost construite cu prețuri ale pierderilor de energie electrică determinate în funcție de evoluția costului păcurii pe piața mondială.

8. În ipoteza că numai 10% din puterea instalată în posturile din țara noastră s-ar abate cu o singură treaptă de putere nominală în plus sau în minus față de optimul economic, aplicarea instrucțiunii CIRE prezentată în anexă ar urma să se soldeze cu o eficiență de ordinul a 15 milioane lei/an. Fracțiunea din acest total corespunzătoare păcurii economisite în centrale urmează să constituie un aport valutar.

Bibliografie

[1] Tihomirov, P. M. *Rașciot transformatorov.* Ed.4 Energhiia, Moscova, 1976.

[2] M.E.E. PE-011/75. *Normativ de calcul comparativ tehnico-economic la instalațiile de producere și transport al energiei electrice.* București, ICEMENERG, 1975.

[3] CIGRE SC 32 — WGO4. *Model studies on transmission techniques.* Abridged report. Dortmund, iulie 1976.

[4] Decret *al Consiliului de Stat pentru modificarea și completarea Legii nr. 62/1968 privind amortizarea fondurilor fixe.* Buletinul Oficial al R. S. România, 12, nr. 106—107, decembrie 1976.

[5] Buhuș, P. *Estimări cu privire la costurile specifice actuale și de perspectivă ale pierderilor de energie din sistemul nostru electroenergetic.* Comunicare la Conferința energeticienilor, Constanța, decembrie 1977.

ANEXĂ

INSTRUCȚIUNE PRIVIND ALEGEREA ÎN PROIECTARE ȘI ÎNLOCUIRILE ULTERIOARE ÎN EXPLOATARE ALE TRANSFORMATOARELOR DIN POSTURILE ECHIPATE CU O SINGURĂ UNITATE

Conf. dr. ing. **P. Buhuș**

1. Considerații generale

1.1. Instrucțiunea se referă la seriile de transformatoare cu ulei fabricate în țara noastră la care puterile nominale succesive sînt în raportul 1,6.

1.2. Se au în vedere cazurile în care încărcările anuale de vîrf sînt în creștere cu o rată medie care poate varia în limite largi, între zero și 17%.

1.3. Prin prezenta instrucțiune se urmărește reducerea cheltuielilor datorate pierderilor din posturile echipate cu un singur transformator, în măsura în care efortul suplimentar de investiții necesare în acest scop rezultă a fi utilizat eficient.

2. Alegerea puterii transformatoarelor în proiectare

2.1. Se estimează sarcina de vîrf inițială S_{Vi} din primul an de exploatare, evitîndu-se orice exagerări.

2.2. Se stabilește coeficientul optim de încărcare la vîrf k_{Vi} pentru primul an de exploatare, dintre valorile indicate în cele ce urmează:

— pentru posturile de distribuție urbană și rurală $k_{Vi} = 0{,}65$;

— pentru posturile industriale, în funcție de duratele anuale de utilizare a puterii maxime T_M, se vor adopta valorile din tabelul 1.

Tabelul 1

T_M, ore/an	4000	5000	6000	7000
k_{Vi}	0,60	0,50	0,45	0,40

2.3. Se determină mărimea teoretică $S_{n\,opt}$ care, pentru condițiile considerate, ar reprezenta o putere nominală optimă:

$$S_{n\,opt} = \frac{S_{Vi}}{k_{Vi}}$$

Din scala de valori normalizate se alege transformatorul cu puterea nominală cea mai apropiată de valoarea teoretică $S_{n\,opt}$.

3. Înlocuirea transformatoarelor din posturile în exploatare

3.1. Înlocuirea cu o unitate de putere imediat superioară — de 1,6 ori mai mare — trebuie efectuată în timp de cel mult un an după atingerea în exploatare a valorii plafon k_{Vf} normate pentru încărcarea la vîrf finală.

3.2. Pentru posturile de distribuție urbană și rurală, încărcarea la vîrf finală urmează a fi considerată $k_{Vf} = 1{,}05$.

3.3. Pentru posturile industriale, plafonul final se deduce din tabelul 2, în funcție de durata anuală de utilizare a puterii maxime T_M.

Tabelul 2

T_M ore/an	4000	5000	6000	7000
k_{Vf}	0,95	0,80	0,70	0,65

4. Exemple de calcul

4.1. *Post de distribuție urbană* pentru care se estimează $S_{Vi} \approx 500$ kVA

$$S_{n\,opt} = \frac{500}{0{,}65} = 770 \text{ kVA}$$

Jumătatea intervalului dintre treptele normalizate de 630 kVA și 1000 kVA o reprezintă valoarea de 815 kVA. Ca urmare, se adoptă $S_n = 630$ kVA. Înlocuirea cu o unitate de 1000 kVA va trebui efectuată în cel mult un an după ce vîrful de sarcină va atinge valoarea de 650 kVA.

4.2. *Post industrial*, pentru care se estimează $S_{Vi} \approx 500$ kVA:

$$S_{n\,opt} = \frac{500}{0{,}6 \ldots 0{,}4} = 835 \ldots 1250 \text{ kVA}$$

Ca urmare, pentru o gamă largă de valori ale duratei anuale T_M poate fi adoptată o aceeași putere nominală $S_n = 1000$ kVA.

În ipoteza unei durate de utilizare a puterii maxime $T_M \approx 5000$ ore/an, conform datelor din tabelul 2, înlocuirea cu o unitate de 1600 kVA ar deveni obligatorie după ce în exploatare s-ar ajunge la vîrfuri de ordinul 800 kVA.

DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI

Electrificarea județului Alba*)

Ing. C. Morțun

Județul Alba cuprinde: un municipiu, Alba Iulia, reședința județului; opt orașe: Abrud, Aiud, Blaj, Cîmpeni, Cugir, Ocna Mureș, Sebeș și Zlatna; 68 comune (dintre care una suburbană) și 658 sate.

Relieful este predominant deluros și muntos, cuprinzînd o mare parte a Munților Apuseni. Principalele ape care străbat județul sînt Mureșul cu afluenții săi, Tîrnava, Sebeșul și Ampoiul. Suprafața județului este acoperită cu mari întinderi de păduri, existînd numeroase și vechi centre de exploatare forestieră la Abrud, Cîmpeni, Alba-Sebeș, Cugir etc., precum și o veche tradiție a prelucrării meșteșugărești a lemnului. Zona deluroasă este acoperită în mare parte cu podgorii, din care cele mai renumite sînt cele de pe versanții Tîrnavelor, din jurul Aiudului și Alba Iuliei. Terenurile arabile sînt concentrate mai ales pe valea Mureșului.

Principalele resurse naturale ale județului sînt însă în subsol. Se găsesc minereuri auro-argentifere, la Zlatna, Baia de Arieș, Almașu Mare, Roșia Montană; minereuri cuprifere la Bucium și Almașul Mare; sare la Ocna Mureșului — Uioara și gaz metan la Cetatea de Baltă. La Izvorul Ampoiului se găsește singurul zăcămînt de minereu de mercur din țară.

În perioada de început a utilizării electricității, industria județului era caracterizată prin unități mici, mai ales din ramura extractivă: aur, argint și sare, existînd în această regiune o veche tradiție minieră încă de pe timpul romanilor. De asemenea mai existau unități pentru extragerea rocilor de construcții și pentru exploatarea lemnului. Ca unități industriale importante pentru acea vreme pot fi citate: cele de industrie extractivă de la Brad, uzinele metalurgice de la Cugir, fabrica de hîrtie de la Petrești, industria chimică pentru producția de sodă de la Ocna Mureș.

Introducerea electricității în județ s-a făcut relativ timpuriu, prin intermediul unităților industriale. Fabrica de hîrtie Petrești a început să utilizeze electricitatea încă din anul 1892, Uzinele chimice din Ocna Mureș din 1895, Salina Uioara din 1907.

Prima localitate electrificată din județ a fost municipiul Alba Iulia, în 1899. Restul orașelor: Sebeș în 1905, Aiud și Abrud în 1907, Zlatna în 1911, Cugir în 1914, Cîmpeni în 1924, Blaj în 1926 și Ocna Mureș în 1932. Primul sat electrificat a fost Cărpiniș, în 1907. Trebuie menționat faptul că electrificarea relativ tîrzie a localităților din județul Alba se datorește și faptului că în unele dintre aceste localități fusese introdus gazul metan, utilizat atît pentru iluminat și încălzit, cît și pentru alte folosințe energetice.

Municipiul Alba Iulia. În anul 1898 primăria orașului a acordat Societății anonime pentru întreprinderi electrice și de transport din Budapesta concesiunea exploatării electricității. În anul 1899 s-au pus în funcțiune primele instalații electroenergetice, compuse din:

— centrala termoelectrică, echipată inițial cu două grupuri electrogene — mașini cu abur verticale de cîte 130 CP fiecare, fabricație Nicholson, cuplate cu generatoare de 100 kVA 2100 V trifazate, 42 Hz, fabricație Ganz;

— rețeaua electrică primară de 2000 V, care alimenta posturile de transformare în cabine de lemn, montate pe stîlpi și echipate cu transformatoare uscate 3 × 2000/110 V, la care se racorda rețeaua de distribuție de 3 × 110 V fără con-

*) Fragment din „Istoria electrificării României", elaborată de un colectiv sub conducerea prof. univ. emerit ing. C. Dinculescu, ce urmează să apară.

ductor de nul. Atît rețeaua de 2000 V cît și cea de 110 V au fost construite aerian, pe stîlpi de lemn. O derivație din fiderul principal de 2000 V și un post de transformare alimentau cetatea militară Alba Iulia.

Creșterea consumului de energie electrică a condus la amplificarea centralei electrice. În 1907 se instalează al treilea grup electrogen, mașină cu abur verticală 250 CP și generator Ganz 200 kVA 2100 V trifazat, 42 Hz.

În anul 1911 Primăria Alba Iulia răscumpără toate instalațiile electroenergetice. Exploatarea electricității se organizează ca serviciu comunal.

Prin dezmembrarea imperiului austro-ungar, în anul 1918, primăria s-a considerat pe deplin proprietară asupra instalațiilor, fără nici o obligație față de concesionar.

Chiar din primii ani de exploatare, primăria constată că prețul de revenire pe kWh produsă în centrala sa este foarte ridicat, în timp ce orașul Sebeș-Alba, avînd o centrală echipată și cu grupuri hidroelectrice, aflată la numai 13 km, este în măsură să alimenteze și orașul Alba Iulia la un preț al energiei electrice mult mai redus. Se decide trecerea alimentării orașului pe centrala de la Sebeș și în octombrie 1913 Primăria Alba Iulia încheie o convenție cu Primăria Sebeș, prin care se contractează alimentarea cu energie electrică din centrala acestui oraș. Energia electrică urma să fie livrată la o putere maximă de 200 kW la 15 kV trifazat, 50 Hz.

Orașul Sebeș a construit LEA de 15 kV Sebeș — Alba Iulia de 15 km, iar orașul Alba Iulia a construit un post de transformare de 3 × 15 000/2000 V legat cu tabloul de distribuție de 2000 V din centrala sa. Măsurarea energiei electrice furnizate se făcea la postul de transformare Alba Iulia prin contoare instalate pe partea de 2000 V.

Începînd cu anul 1918, aplicarea acestei convenții a condus la nemulțumiri și la un permanent dezacord între cele două orașe: orașul Sebeș cerea majorarea prețului de vînzare al energiei electrice, pretinzînd că prețul inițial se situează sub cel de cost, în timp ce orașul Alba Iulia cerea majorarea furniturii fără a fi de acord cu sporirea prețului. Litigiul nu a putut fi stins nici pe cale administrativă și nici pe cale juridică. Prin tratative și concesii din ambele părți s-a ajuns pînă la urmă la înțelegerea ca, începînd din anul 1929, orașul Sebeș să livreze pentru Alba Iulia o putere maximă de 320 kW. Această soluție, fără modificări corespunzătoare în instalații, a condus la o calitate slabă a furniturii de energie electrică și la numeroase întreruperi în alimentarea orașului Alba Iulia.

În fața acestei situații, Primăria Alba Iulia a luat hotărîrea să renunțe la alimentarea de la Sebeș și să treacă alimentarea cu energie electrică a orașului Societății de specialitate SETA din Sibiu, cu care se încheie, în decembrie 1931, contractul pentru furnizarea energiei electrice și pentru refacerea instalațiilor electrice. Societatea SETA a constituit, împreună cu orașul Alba Iulia, o regie mixtă comercială denumită „Uzinele comunale Alba Iulia" (UCEA), care a preluat realizarea contractului.

La început, în perioada 1932—1934, SETA a alimentat orașul Alba Iulia tot de la centrala Sebeș, iar în 1935 a prelungit pînă la Alba Iulia LEA de 15 kV Sibiu — Miercurea — Sebeș, trecînd astfel alimentarea orașului pe rețeaua sa.

Instalațiile de distribuție din oraș s-au extins pînă în 1930 în mod anarhic pe nucleul constituit inițial, ajungînd în acest an la circa 7,3 km linii de 2000 V, din care se alimentau 20 posturi de transformare 2000/110 V cu o putere instalată de 360 IVA și circa 20 km rețea de distribuție 3 × 110 V din care erau alimentați circa 1400 abonați și circa 250 lămpi electrice publice.

Rețeaua electrică a fost de la început slab dimensionată și construită, iar extinderea ei permanentă s-a făcut în condiții din ce în ce mai precare. Această stare tehnică a instalațiilor de distribuție a fost cel de-al doilea element important care a condus la hotărîrea luată de Primăria Alba Iulia de a se adresa societății SETA Sibiu. În acest sens, în convenția cu SETA s-a prevăzut și reconstruirea rețelelor electrice la 15 kV și 3 × 380/220 V la nivelul prescripțiilor tehnice în vigoare.

În anul 1938, după refacerea rețelelor de către SETA, rețeaua orașului Alba Iulia cuprindea : 5,3 km linii de 15 kV, 6 posturi de transformare de 15 000/380/220 V cu 475 kVA și 36,5 km rețea de 3 × 380/220 V, la care erau racordați 1821 abonați și 410 lămpi electrice publice, care au consumat 625 000 kWh/an.

Această situație în alimentarea orașului Alba Iulia a durat pînă la constituirea în 1950 a sistemului energetic al Ardealului central, cînd s-a integrat acestui sistem și rețeaua fostei societăți SETA, respectiv alimentarea orașului Alba Iulia.

Orașul Sebeș-Alba a fost electrificat în anul 1905, prin întreprinderea „Gerlay și Eck" din Budapesta, care, obținînd concesiunea exploatării electricității, a construit și pus în funcțiune în acest an primele instalații electroenergetice, compuse din :

— centrala electrică, echipată cu două grupuri turbine de apă orizontale sistem Francis, fabricație Voith, de cîte 380 CP fiecare, cuplate direct cu generatoare de 260 kVA, 5000 V trifazate 50 Hz, și un grup mașină cu abur de 165 CP, cuplată cu un generator de 260 kVA 5000 V trifazat, 50 Hz, ca rezervă termică ;

— rețeaua electrică de distribuție primară 5000 V, o serie de posturi de transformare de 5000/110 V și rețeau de distribuție de 3 × 110 V.

În anul 1911 centrala electrică și instalațiile de distribuție au trecut în proprietatea comunei Sebeș, care a organizat exploatarea electricității ca serviciu comunal.

Puterea instalată în centrală și slaba ei utilizare de către consumatorii din Sebeș au făcut posibilă satisfacerea în anul 1912 a cererilor de alimentare cu energie electrică a satelor Petrești și Vințul de Jos, prin două linii aeriene de 5000 V. Între timp s-a dat curs și solicitării orașului Alba Iulia, încheindu-se în octombrie 1913 contractul de furnitură pentru puterea maximă de 200 kW.

Creșterea consumului de energie în orașul Sebeș și celelalte obligații asumate au obligat Primăria Sebeș să procedeze chiar din anul 1913 la o recondiționare și amplificare a instalațiilor. În centrală s-a desființat grupul cu mașina cu abur și s-a instalat în loc un grup Diesel-electric Sulzer 450 CP 300 kVA 5000 V, trifazat, 50 Hz.

După primul război mondial, între orașele Sebeș și Alba Iulia au urmat relațiile încordate care au fost arătate și care au avut drept urmare și hotărîrea Primăriei Sebeș de a proceda la o nouă amplificare a centralei.

În anul 1924 s-a montat un nou grup Diesel fabricație Franco Tosi, de 200 CP, cu generator de 145 kvA 5000 V trifazat, 50 Hz, care funcționase însă mai mulți ani în industrie, era uzat și în urma unui accident în anul 1930 nu a mai fost reparat, fiind definitiv scos din funcțiune. S-a revenit astfel la situația dinainte, care a condus la rezilierea contractului cu orașul Alba Iulia.

În 1938, principalele caracteristici ale instalațiilor din Sebeș erau : putere instalată în centrală 1300 CP, respectiv 957 kW, 5 km linii de 5 kV, 27 posturi de transformare cu 750 kVA, 27 km rețea de 3 × 110 V, din care se alimentau 2350 abonați și 470 lămpi publice. Energia electrică produsă în 1938 a fost de circa 2 000 000 kWh, din care circa 1900 000 kWh energie hidroelectrică.

În anul 1937 se construiește, în cadrul sistemului electroenergetic minier Brad — Gura-Barza, LEA de 60 kV Gura-Barza — Zlatna, care în 1948 se prelungește de la Zlatna pînă la Sebeș, integrîndu-se astfel instalațiile electroenergetice de la Sebeș acestui sistem local, prin stația de 60/15/5 kV Sebeș. În sfîrșit, în 1950, prin construirea LEA 60 kV Sebeș — Sibiu se realizează și interconexiunea Gura-Barza — Tîrnăveni, consolidîndu-se astfel sistemul electroenergetic al Ardealului central, iar alimentarea orașului Sebeș făcîndu-se din acest sistem.

Orașul Abrud a fost electrificat în anul 1907, prin racord la centrala electrică Gura Roșie.

În anul 1905, în comuna Cărpiniș-Gura Roșie, din apropierea minelor aurifere de la Roșia Montană, s-a instalat o centrală termoelectrică pentru necesitățile exploatării miniere, echipată inițial cu două grupuri electrogene cu motoare cu gaz și generatoare de 350 kVA 5500 V trifazat, 42 Hz.

Orașul Abrud, situat la o distanță de 7 km de centrala Gura Roșie, a fost la început alimentat printr-o LEA de 5 kV cu două posturi de transformare 5000/120 V a 15 kVA. Rețeaua de distribuție de 110 V din oraș avea o lungime de circa 1,5 km și alimenta 80 abonați. În 1938 rețeaua primară de 5000 V din oraș avea 3,5 km lungime, alimenta 5 posturi

de transformare de 5000/120 V cu o putere totală instalată de 90 kVA, iar rețeaua de distribuție de 110 V avea 7 km. Aceste instalații deserveau 360 abonați și 115 lămpi publice, iar energia cumpărată de la centrala Gura Roșie a atins circa 70 000 kWh/an.

Alimentarea orașului în această schemă a funcționat pînă în anul 1940, cînd prin construcția LEA de 60 kV Gura-Barza — Zlatna — Roșia Montană și a stației 60/6 kV Roșia Montană se trec toți consumatorii din regiune pe sistemul local minier Brad—Gura-Barza. Concomitent, instalațiile de distribuție se recondiționează și se modifică, trecîndu-se la 6 kV 50 Hz.

Prin integrarea în anul 1950 a sistemului local minier Brad—Gura-Barza în sistemul regional Ardealul central, s-a realizat și alimentarea orașului Abrud din acest sistem.

Orașul Aiud a fost electrificat în 1907, prin construirea unei centrale termoelectrice locale, a unei rețele de distribuție primară de 3000 V cu cîteva posturi de transformare de 3000/110 V și a unei rețele de distribuție de 3 × 110 V. Exploatarea electricității a fost organizată ca serviciu comunal.

În anul 1938, în centrala locală erau instalate : două grupuri Diesel-electrice a 250 CP 186 kVA 3100 V trifazat, 42 Hz și 1 grup Diesel-electric 300 CP 200 kVA 3100 V trifazat, 42 Hz.

Rețeaua primară de 3000 V avea circa 14 km și alimenta 31 posturi de transformare 3000/110 V și circa 22 km rețea de 3 × 110 V. În aceste cifre sînt cuprinse și instalațiile pentru electrificarea satelor Aiudul de Sus, Ciumbrud și Gîmbaș.

Tot din centrala Aiud, prin racorduri de 3 kV, s-au electrificat și stațiile de cale ferată Teiuș (1913) și Coșlariu (1923). În anul 1938, la Aiud erau 1800 abonați, 750 lămpi publice, iar energia electrică produsă de centrală era de circa 985 000 kWh.

Orașul Zlatna a fost electrificat în anul 1911, prin construirea unei centrale electrice locale și a unei rețele de distribuție de joasă tensiune de curent continuu. Inițial, în centrală s-au instalat două grupuri Diesel-electrice de 50 CP 36 kW 240/120 V c.c.

În 1934 se trece la curentul alternativ trifazat de 50 Hz prin înlocuirea dinamurilor cu generatoare de 35 kVA și refacerea rețelei de distribuție. În 1937 se înlocuiește unul din grupurile de 30 CP cu un grup de 150 CP 110 kVA.

Prin construirea și punerea în funcțiune în 1938 a LEA 60 kV Gura-Barza — Zlatna și a stației 60/6 kV Zlatna, se trece alimentarea orașului Zlatna de pe centrala locală pe sistemul minier Brad—Gura-Barza, iar din 1950 pe sistemul regional Ardealul central.

În 1938, cînd a funcționat și centrala locală și racordul la sistemul minier, au fost deserviți circa 180 consumatori și 80 lămpi publice, care au consumat circa 72 000 kWh produse în centrala proprie și circa 270 000 kWh cumpărate de la sistemul local minier.

Orașul Cugir a fost electrificat în anul 1914, prin racordarea rețelei de distribuție de 3 × 380/220 V din oraș, la centrala electrică a uzinelor metalurgice Cugir, construită pe Rîul Mare în 1914.

Ulterior, prin extinderea orașului și a rețelei de joasă tensiune, s-a trecut la suprapunerea unei rețele de distribuție primară de 6000 V alimentată tot din centrala uzinelor metalurgice.

În 1938 centrala electrică a uzinelor metalurgice avea o putere totală instalată de 2670 CP și a produs aproximativ 3 400 000 kWh.

Alimentarea cu energie electrică a orașului Cugir a funcționat în această schemă pînă în 1953, cînd, prin construirea LEA 35 kV Deva—Simeria—Orăștie—Cugir, s-a interconectat centrala electrică a uzinelor metalurgice la sistemul regional Ardealul central.

Orașul Cîmpeni a fost electrificat în anul 1924, prin alimentarea rețelei electrice de 3 × 380/220 V de la centrala electrică a Școlii de meserii. Această centrală, amplasată pe Arieș, avea instalată o turbină de apă de 70 CP și un motor Diesel de 100 CP, care antrenau, după caz, un generator de 50 kVA 400/231 V trifazat, 50 Hz.

În 1938 rețeaua de distribuție avea circa 4 km și alimenta 150 consumatori și 65 lămpi publice, iar energia electrică produsă de centrală a fost de circa 45 000 kWh.

Alimentarea orașului Cîmpeni a funcționat în această schemă pînă în anul 1956, cînd orașul a fost racordat la sistemul energetic național și cînd i-a fost suprapusă și o rețea primară de 6000 V.

Orașul Blaj a fost electrificat în anul 1926, prin construirea unei centrale electrice particulare și a unei rețele de distribuție. Centrala electrică, proprietatea A. Laday, era echipată cu : un grup hidroelectric 125 CP 100 kVA 3150 V trifazat, 50 Hz, un grup hidroelectric 100 CP 80 kVA și un grup Diesel-electric 200 CP 180 kVA 3150 V trifazat, 50 Hz.

În 1938 rețeaua primară de 3000 V avea 6,15 km și alimenta cinci posturi de transformare de 3000/380/220 V, respectiv 18 km rețea de 3 × 380/220 V. În același an existau 550 abonați și 155 lămpi publice, iar centrala electrică a produs circa 195 000 kWh.

Orașul Ocna-Mureș. Utilizarea electricității în Ocna-Mureș a fost introdusă în 1895, prin construirea și punerea în funcțiune a uzinelor de produse sodice, respectiv a centralei electrice industriale a acestor uzine. În 1938, puterea acestei centrale era de 3710 CP, respectiv 2610 kVA la 3500 V trifazat, 50 Hz. Odată cu introducerea electricității la uzinele sodice, o parte a locuitorilor orașului, în special salariații acestor uzine, au putut beneficia de energia electrică. Această situație a durat pînă în anul 1932, cînd primăria a acordat concesiunea alimentării orașului și distribuirii electricității societății SETA din Sibiu. În același an, SETA a construit și pus în funcțiune LEA de 15 kV Tîrnăveni — Ocna-Mureș și stația 15 000/380/220 V Ocna-Mureș, alimentînd astfel orașul din rețeaua sa.

Centrale electrice industriale autoproducătoare. În afara centralelor electrice de interes public, arătate mai sus, s-a construit un număr de centrale electrice industriale, dintre care cele mai importante sînt arătate în tabelul de mai jos.

Nr. crt.	Întreprinderea și localitatea	Anul punerii în funcțiune	Tipul grupului	Nr. unității	Puterea, kW	
					unitară	totală
1	Fabrica de hrtie Petrești (1854)	1892	TH	1	2	
			MA	2	230	462
2	Uzinele Solvay Ocna-Mureș	1895	MA	1	50	
			MA	1	160	
			MA	1	250	
			MD	2	100	
			MA	2	1075	2810
3	Salina Uioara Ocna Mureș	1907	MA	2	115	
			MA	1	40	270
4	Serviciul Minelor Statului—Roșia Montană	1908	MGS	2	125	250
5	Uzina de prelucrare a minereurilor Cărpiniș	1908	MGS	1	230	
			MGS	2	125	480
6	Uzinele metalice și metalochimice RIMA-Zlatna	1911	MD	1	45	
			MD	1	125	170
7	Uzinele metalurgice Cugir	1914	TA	2	1000	
			MD	1	1100	
			MD	1	350	3450
8	Moara Iohana—Alba Iulia	1925	MA	1	10	10
9	Fabrica de cherestea Petrești	1925	MA	1	14	14
10	Pirit SA de Mine Zlatna	1925	MD	1	16	
			MD	1	18	
			MD	1	30	64

MA — mașină cu abur; TA — turbină hidraulică; MD — motor Diesel; MGS — motor gaz sărac; TA — turbină cu abur.

Electrificarea rurală. Prima localitate rurală electrificată în județul Alba a fost satul Cărpiniș-Gura Roșie, în 1907, ca urmare a instalării în 1905 a centralei electrice Gura Roșie pentru necesitățile minelor aurifere de la Roșia Montană. Cu excepția acestei prime localități, electrificarea rurală a județului Alba s-a dezvoltat foarte lent. În general au fost electrificate satele din imediata apropiere a centralelor electrice construite pentru alte scopuri, putînd fi stabilite trei asemenea zone :

— zona alimentată din centrala electrică Gura Roșie, respectiv electrificarea satelor Gura Roșie, Roșia Montană, Abrud-sat ;

— zona alimentată din centrala electrică Sebeș : Petrești, Vințul de Jos, ;

— zona alimentată din centrala electrică Aiud : Aiudul de Sus, Ciumbrud, Gîmbaș, Teiuș, Coșlariu.

Mai tîrziu au început și electrificările rurale prin racorduri la rețeaua de 15 kV a societății SETA. Pînă la sfîrșitul anului 1950 au fost electrificate 13 din cele 558 sate ale județului Alba, și anume : Gura Roșie, Roșia Montană, Abrud-sat, Petrești., Vințul de Jos, Teiuș, Coșlariu, Gîmbaș, Gîrbova, Cacova, Sebeșul de Jos, Aiudul de Sus, Ciumbrud.

Bibliografie

[1] *** Ministerul Industriei și Comerțului. *Statistica instalațiilor de forță din România.* București, 1925.

[2] *** APDE. *Statistica uzinelor electrice din România, 1936, 1938, 1941.*

[3] Atanasiu, C. și Polizu, A. *Raport de expertiză asupra alimentării cu energie electrică a orașului Alba Iulia (1929).*

[4] Schneider, W. *Note privind electrificarea localităților : Alba Iulia, Zlatna, Cugir, Vințul de Jos.* IRE Sibiu, 1972.

[5] Murărescu, E. *Note asupra electrificării localităților Abrud și Cîmpeni.* IRE Deva, 1973.

Recenzii

E. PAVEL. **Elemente de analiză modernă a sistemelor electroenergetice interconectate.** Editura tehnică, București, 1978, 215 p., 72 fig., 45 ref. bibl.

În seria apariților editoriale recente din țara noastră, din domeniul electroenergetic, cartea dr. ing. Eugeniu Pavel cu titlul de mai sus reprezintă incontestabil, prin specificul tematicii abordate, o lucrare deosebit de importantă și utilă.

Lucrarea se ocupă de principalele metode moderne de analiză a marilor sisteme electroenergetice, considerate ca avînd structuri integrate sau ca fiind sisteme cu structuri compuse din subsisteme integrate, legate între ele prin linii speciale de interconexiune.

Primul capitol al lucrării, cu caracter introductiv, prezintă probleme actuale și de viitor ale sistemelor electroenergetice, precizînd cîteva concepte de bază ale domeniului tratat în lucrare, și expune, în același timp, scopul lucrării.

Astfel, sînt expuse avantajele marilor sisteme electroenergetice interconectate, evoluția în viitor a transportului energiei electrice la mare distanță, structura în continuă evoluție și modificare a sistemelor electroenergetice.

Definindu-se conceptul de sistem electroenergetic în accepțiunea clasică, se aduc îmbunătățiri acestei definiții pe baza teoriei sistemelor.

Interpretînd noțiunea de sistem electroenergetic și analizînd fenomenele care-l caracterizează, se ajunge la conceptul de cauzalitate. Se definesc în acest fel *variabilele de intrare* și, respectiv, *variabilele de ieșire* ale unui astfel de sistem și pe această bază se stabilește relația dintre aceste variabile, care exprimă în limbaj matematic scopul analizei sistemului electroenergetic.

În continuare sînt expuse problemele sistemelor electroenergetice : probleme de analiză și probleme de sinteză.

În finalul capitolului se arată scopul lucrării — acela de a prezenta principalele metode moderne de analiză a marilor sisteme electroenergetice pe baza *modelării matematice*, a *modelării fizice* și a *modelelor mixte*.

În capitolul al doilea se prezintă bazele metodelor de analiză a sistemelor electroenergetice.

În primul subcapitol se tratează problema construirii structurilor ca modele ale realității fizice și se analizează posibilitatea reprezentării cît mai exacte a structurii, precum și erorile care se introduc la stabilirea caracteristicilor elementelor acesteia. Astfel, pornind de la definirea parametrilor lineici primari ai liniilor electrice lungi, se stabilesc ecuațiile care se aplică la circuite parcurse de curenți sinusoidali și se determină parametrii lineici secundari ai liniilor electrice : constanta de propagare $\underline{\gamma}$ și impedanța caracteristică $\underline{Z}_c$.

Sînt analizate apoi schemele echivalente simplificate ale liniilor electrice : cvadripolii în π și T.

Considerațiile legate de liniile electrice lungi ca circuite cu parametri uniform distribuiți se încheie cu concluzia că acestea pot fi modelate cu ajutorul reprezentărilor de circuite cu parametri concentrați.

Se trece apoi la prezentarea succintă a modelelor celorlalte constitutive ale sistemelor electroenergetice ce funcționează în regimuri armonice, deformante și tranzitorii, analizîndu-se posibilitatea reprezentării „cît mai exacte" a structurii și erorile care se introduc la stabilirea caracteristicilor elementelor acesteia.

Al doilea subcapitol se ocupă de teoremele și metodele de bază pentru rezolvarea circuitelor sistemelor electroenergetice, care își au originea în teoria generală a circuitelor electrice : teoremele lui Kirchhoff generalizate, mărimile nodale, transfigurările substructurilor liniare, teoremele generalizate Norton și Helmholtz — Thévenin și teorema conservării puterilor.

Al treilea subcapitol al celui de-a doilea capitol al lucrării abordează problemele interpretării tensoriale a mărimilor și transformărilor structurilor sistemului electroenergetic.

Astfel, în cadrul acestui subcapitol, după prezentarea introductivă a interpretării tensoriale a mărimilor ce caracterizează un sistem electroenergetic, sînt abordate următoarele probleme : transfigurările substructurii liniare pasive, transformările ortogonale în spațiul l — dimensional al laturilor substructurii pasive și rețelele ortogonale.

Fără îndoială că interpretarea tensorială a mărimilor și transformărilor structurilor sistemelor electroenergetice este esențială pentru aplicarea metodelor de analiză folosite în tehnica actuală.

Subcapitolul 4 și ultimul al capitolului 2 al lucrării prezintă metodele grafice de analiză a sistemelor electroenergetice : metoda grafurilor de fluență, metoda Daisy și metoda Dimo.

Capitolul al treilea al cărții examinează metodele de analiză a sistemelor electroenergetice vaste.

Astfel, după ce se fac cîteva considerații, într-un subcapitol introductiv, asupra sistemelor electroenergetice vaste, se trece la metoda diakopticei de analiză a acestor sisteme, în cadrul căreia sînt abordate problemele care privesc diakoptica cu două etape de secționare și diakoptica cu mai multe etape de secționare. Subcapitolul referitor la metoda diakopticei se încheie cu un exemplu de calcul.

În continuare, în cadrul aceluiași capitol, se prezintă generalizarea grafurilor de fluență și aplicarea lor la sistemele electroenergetice vaste, inclusiv cu ajutorul calculatorului.

În finalul capitolului este abordată metoda de analiză românească a sistemelor electroenergetice vaste cu ajutorul modelelor REI — DIMO, metodă care în ultimul timp se bucură de o largă apreciere în lume.

În cadrul subcapitolului consacrat metodei modelelor REI — DIMO sînt examinate problemele : reprezentarea sistemelor parțiale, interconectarea sistemelor parțiale, tratarea liniilor de interconexiune și indicatorii de stare.

Ultimul capitol al lucrării, intitulat foarte insipirat, de către autor, „Postfață", prezintă cîteva considerații generale, dar esențiale după părerea noastră, privind limitele de aplicabilitate, precum și importanța practică a metodelor de analiză examinate.

Ne referim, din acest punct de vedere, la faptul că, într-adevăr, ar fi încă prematură o apreciere comparativă între metodele de analiză a sistemelor electroenergetice, urmînd ca o experiență mai îndelungată să ierarhizeze eficacitatea fiecăreia. Aceasta cu atît mai mult cu cît nu poate fi vorba de o alegere între metode, deoarece acestea nu se exclud între ele, ci, dimpotrivă, se completează.

Fără îndoială că sub această prismă cercetarea în acest domeniu are perspective deschise, practic nelimitate.

La sfîrșitul cărții, o serie de anexe prezintă elemente, noțiuni și definiții din teoria grafurilor, din teoria calculului tensorial și din teoria grafurilor de fluență, utile pentru înțelegerea textului.

Trecerea în revistă foarte pe scurt a conținutului cărții evidențiază faptul că, într-un număr relativ mic de pagini, reușește să prezinte complet, după opinia noastră, un domeniu pe cît de important, pe atît de delicat, din energetică.

Bazată pe o lungă și rodnică activitate a autorului în energetica românească, ca și în învățămîntul energetic superior românesc cartea de față reprezintă o valoroasă contribuție la teoria și practica sistemelor electroenergetice.

Prin felul în care este structurată tematica cărții, prin stilul concis, cursiv și în același timp riguros în care se face expunerea, prin însăși concepția lucrării și modul de tratare a subiectului, la care se adaugă aportul științific original al autorului, cartea este de mare utilitate pentru un cerc larg de cititori care au preocupări în domeniul cercetării, proiectării și exploatării sistemelor electroenergetice.

Prin incontestabilele sale calități didactice, cartea sa adresează în egală măsură și specialiștilor în formare, studenților din învățămîntul tehnic superior de specialitate.

Pentru toate aceste considerente, inițiativa Editurii tehnice de a publica o asemenea carte se va bucura de o apreciere corespunzătoare din partea cercurilor de cititori.

Ing. **Romulus Sfichi**

L. BIVOLARU. **Montarea instalațiilor de automatizare.** Editura tehnică, București, 1978.

Apariția primelor două volume din lucrarea „Montarea instalațiilor de automatizare", semnată de ing. L. Bivolaru, în seria practică „Automatică — Informatică — Electronică — Management, a Editurii tehnice, constituie un eveniment remarcabil, întrucît conținutul acestei lucrări parcurge un domeniu tehnic puțin abordat în literatura tehnică românească.

În volumul I al acestei lucrări, intitulat „Probleme generale ale lucrărilor de montare", sînt prezentate, într-un cadru logic, aspectele generale ale montării instalațiilor de automatizare. Acest volum, organizat în 9 capitole, este susținut de un bogat material grafic și numeroase tabele. Sînt prezentate noțiunile generale, modul de întocmire a proiectelor de execuție a instalațiilor de automatizare, tipurile de protecții pentru mașini, aparataj și instalații electrice, modul de organizare a lucrărilor de montare a instalațiilor de automatizare, sursele de energie auxiliară pentru alimentarea instalațiilor de automatizare, executarea echipamentelor de automatizare și montarea aparaturii, montarea conductelor neelectrice și electrice, măsuri de protecție a muncii specifice lucrărilor de montare și condițiile de verificare și recepție a instalațiilor de automatizare.

Volumul al II lea, „Aparate și instalații de măsură și control", este constituit din 5 capitole, în care sînt tratate problemele montării instalațiilor de măsură și control al mărimilor neelectrice din procese industriale : temperatura, presiunea, debitul, nivelul și compoziția gazelor.

Sînt prezentate atît tipurile de sesizare ale mărimilor neelectrice, cît și aparatele de măsurare.

Autorul insistă asupra condițiilor de realizare a unor montaje sigure, etanșe, accesibile și cu posibilități de întreținere și demontare ușoare. Este, de asemenea, tratată problema erorilor de măsurare și a aprecierii acestora.

În ambele volume sînt prezentate probleme de raționalizare a soluțiilor proiectate și acele soluții tipizate care asigură amplificarea procesului de automatizare a producției.

Problemele tratate în lucrare sînt deosebit de complexe, lucrarea, însă, este accesibilă tuturor cadrelor tehnice, astfel încît constituie un îndreptar practic valoros.

Ing. **Radu Munteanu**

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.22/23.001.1

Арменкою, Н.: **Решения, примененные при проектировании электрических станций в целях снижения удельных потреблений топлива для выделяемой электрической энергии**

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 229–238

ДК 621.311.25 : 621.032.42

Алексе, Фл. и *Донос, С.*: **О целесообразности использования на АЭС, работающих на воде или тяжелой воде под давлением, паровых генераторов с принудительной циркуляцией в зоне экономайзера**

Рассматриваются критерии выбора конструктивных типов паровых генераторов для атомных электростанций типа.

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 238–245

ДК 621.311.25 : 621.034.42

Найдук, К.: **Теплопереход в пярмых участках труб паровых генераторов для АЭС с реакторами PWR**

Представляются результаты, полученные главными критериальными уравнениями расчета теплоперехода в прямые трубы. Была разработана расчетная программа для сравнения результатов.

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 245–247

ДК 621.311.161.001.4

Дарие, С. и *Наги Бака, Г.*: **Анализ уязвимости электрических систем, используя понятие топологического синтеза**

Представляется недавнее применение матрицы *Z*— анализ уязвимости взаимосвязей, новое понятие систематического анализа эффектов инцидентов или манипуляции в системе. Разрабатывается один новый алгорифм и расчетная программа по определению показателей манипуляции, используя технику синтеза и конструктивно-исключающих понятий.

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 247–250

ДК 621.313.323

Потолеа, Е.: **Модели и параметры синхронной машины. II-я часть — Модели по расчету режимов**

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 250–257

ДК 621.314.2

Селиски, Ал. и Гузун, Б.: **Экономическая работа автотрансформаторов в схемах электрических станций**

Анализируется возможность использования автотрансформаторов для подключения генераторов к системе (их подключение к критичной обмотке автотрансформаторов), а также использование критичности этих автотрансформаторов для подключения одного компенсатора или синхронного двигателя.

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 258–267

ДК 621.314.2

Бухуш, П.: **Теоретические предпосылки предписаний, касающихся выбора в проектировании и последующая замена в эксплуатации трансформаторов на трансформаторных пунктах**

Анализируются области экономического использования трансформаторов на трансформаторных пунктах с целью определения способа выбора и использования этих трансформаторов в условиях оптимальной взаимосвязи между капиталовложением и современным уровнем расходов вследствие потерь мощности и энергии.

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 267–274

ИЗ ПРОШЛОГО ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАНИЯ РУМЫНИИ

ДК 621.311.1.001.1

Морцун, К.: **Электрификация уезда Алба**

Energetica 26 (1978), № 7–8, стр 274–277

РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.22/23.001.1

Armencoiu, N.: **Angewandte Lösungen bei der Kraftwerksprojektierung zwecks Verminderung de spezifischen Brennstoffverbrauchs bei der Erzeugung elektrischer Energie**

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 229–238

DK 621.311.25 : 621.034.42

Alexe, Fl. und *Donos, S.*: **Zur Zweckmässigkeit des Einsatzes im Kernkraftwerk mit Druckwasser oder Druckschwerwasser eines Zwangsdurchlaufkessels im Bereich des Ekonomisers**

Im Artikel werden die Auswahlkriterien der Bauart der für PWR- und PHWR-Kernkraftwerke bestimmten Dampferzeuger erörtert.

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 238–245

DK 621.311.25 : 621.034.42

Haiduc, C.: **Die Wärmeübertragung auf den geraden Strecken der Dampferzeugerrohre für die mit PWR-Reaktoren ausgerüsteten Kernkraftwerke**

Eswerden die bei der Verwendung der wichtigsten Kriterialgleichungen zur Berechnung der Wärmeübertragung auf geraden Rohren erzielten Ergebnisse vorgeführt. Zum Vergleich der Ergebnisse wurde ein Berechnungsprogramm ausgearbeitet.

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 245–247

DK 621.311.161.001.4

Darie, S. und *Nagy Baka, Gh.*: **Analyse der Anfälligkeit elektrischer Systeme unter Verwendung eines Konzeptes der topologischen Synthese**

Es wird eine neue Anwendung der *Z*-Matrix, die Analyse der Anfälligkeit und der Zusammenhänge erörtert, die ein neues Konzept der systemischen Analyse der Auswirkungen von zufälligen Felhern oder falschen Eingriffen im Energieversorgungssystem darstellt. Es wird ferner ein neuer Algorithmus und ein Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Eingriffsindikatoren unter Verwendung der Synthesetechnik und des konstruktiv-eliminatorischen Konzeptes ausgearbeitet.

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 247–250

DK 621.313.323

Potolea, E.: **Modelle und Parameter der Synchronmaschine. Teil II. Modelle zur Berechnung der Fahrweisen**

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 250–257

DK 621.314.2

Selischi, Al. und *Guzun, B.*: **Wirtschaftlicher Betrieb von Spartransformatoren in den Kraftwerkschaltungen**

Es wird die Möglichkeit des Einsatzes von Spartransformatoren zur Anschaltung von Generatoren an das Verbundnetz (Generatoranschaltung an die Tertiärwicklung der Spartransformatoren) sowie der Verwendung der Tertiärwicklung der Spartransformatoren zur Anschaltung eines Kompensators oder eines Synchronmotors untersucht.

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 258–267

DK 621.314.2

Buhuș, P.: **Theoretische Voraussetzungen der Anleitung zur Auswahl der Transformatoren bei der Projektierung und ihrer späteren Ersetzung im Betrieb der Netzverteilungsstellen**

Es werden die Gebiete eines wirtschaftlichen Einsatzes von Transformatoren der Netzverteilungsstellen zwecks Festlegung der Auswahl-und Einsatzweise solcher Transformatoren unter den Bedingungen einer optimalen Korrelation zwischen den Investitionskosten und dem heutigen Stand der durch Leistungs-und Energieverluste entstehenden Kosten untersucht.

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 267–274

AUS DER GESCHICHTE DER ELEKTRIFIZIERUNG RUMÄNIENS

DK 621.311.1.001.1

Morțun, C.: **Elektrifizierung des Kreises Alba**

Energetica 26 (1978), H. 7–8, S. 274–277

BUCHBESPRECHUNG

SOMMAIRE

CD 621.311.22/23.001.1

Armencoiu, N. : **Solutions adoptées pour la conception des centrales électriques dans le but de réduire les consommations spécifiques de combustible pour l'énergie électrique émise**

Energetica 26 (1978), no.7–8, p. 229–238

CD 621.311.25 : 621.034.42

Alexe, Fl. et *Donos, S.* : **Sur l'opportunité d'utiliser dans les centrales nucléaires électriques à eau ou à eau lourde sous pression le générateur à vapeur à circulation forcée dans la zone de l'économiseur**

Sont examinés les critères pour le choix des types constructifs des générateurs à vapeur pour les centrales nucléaires du type PWR et PHWR.

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 238–245

CD 621.311.25 : 621.034.42

Haiduc, C. : **Le transfert de la chaleur dans les portions droites des tuyaux des générateurs à vapeur des centrales nucléaires à réacteur PWR**

On présente les résultats obtenus à l'aide des principales équations critèriales du transfert de la chaleur dans les tuyaux droits. Un programme de calcul a été conçu afin de comparer les résultats.

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 245–247

CD 621.311.161.001.4

Darie, S. et *Nagy Baka, Gh.* : **L'analyse de la vulnérabilité des systèmes électriques en utilisant un concept de synthèse topologique**

Les auteurs présentent une application récente de la matrice Z — l'analyse de la vulnérabilité/des contingences, un nouveau concept d'analyse systémique des effets des incidents ou des manoeuvres dans le système. On élabore un nouvel algorithme et programme de calcul pour déterminer les indicateurs de manoeuvre, en employant la technique de synthèse et le concept constructif-éliminatoire.

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 247–250

CD 621.313.323

Pololea, E. : **Les modèles et les paramètres de la machine synchrone. Deuxième partie — Modèles pour le calcul des régimes**

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 250–257

CD 621.314.2

Selischi, Al. et *Guzun, B.* : **Le fonctionnement économique des autotransformateurs dans les schémas des centrales électriques**

On analyse la possibilité d'utiliser les autotransformateurs pour raccorder les générateurs au système (leur connexion au tertiaire des autotransformateurs), ainsi que la possibilité d'utiliser le tertiaire de ces autotransformateurs pour la connexion d'un compensateur ou d'un moteur synchron e.

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 258–267

CD 621.314.2

Buhuş, P. : **Les prémisses théoriques de l'Instruction concernant la sélection dans la conception et les substitutions ultérieures dans l'exploitation des transformateurs des postes**

L'auteur analyse les domaines de l'utilisation économique des transformateurs des postes dans le but d'établir une nouvelle modalité de sélection et d'utilisation de ces transformateurs dans les conditions d'une corrélation optimale entre les efforts d'investissement et le niveau actuel des dépenses dues aux pertes de puissance et d'énergie.

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 267–274

ASPECTS DU PASSE DE L'ELECTRIFICATION DE LA ROUMANIE

CD 621.311.1.001.1

Morţun, C. : **L'électrification du département Alba**

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 274–277

COMPTES-RENDUS

CONTENTS

DC 621.311.22/23.001.1

Armencoiu, N. : **Solutions adopted in the design of power stations with a view to reducing the fuel specific consumptions for the generated energy**

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 229–238

DC 621.311.25 : 621.034.42

Alexe, Fl. and *Donos, S.* : **On the advisability of employing at nuclear power stations with pressurised water or heavy water of the forced circulated steam generator within the economizer zone**

The paper analyses the selection criteria for constructive types of steam generators for PWR and PHWR nuclear power stations.

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 238–245

DC 621.311.25 : 621.034.42

Haiduc, C. : **Heat transfer within straight sections of steam generator tubes for PWR nuclear plants**

The obtained results are presented, with the main computing criterial equations of heat transfer within straight tubes. A computing program for comparison of results has been drawn up.

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 245–247

DC 621.311.161.001.4

Darie, S. and *Nagy Baka, Gh.* : **Analysis of electric systems vulnerability, using a topologic synthesis concept**

There is presented a recent aplication of matrix Z — the analysis of vulnerabilities/contingencies, a new concept of systemic analysis of the incidents or system control effects. A new algorithm and computing program is drawn up for estimation of control indicators, using the synthesis technique and the constructive-eliminating concept.

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 247–250

DC 621.313.323

Pololea, E. : **Models and parameters of synchronous machines. Part II — Models for regime computations**

Energetica 26 (1978), no. 7–8, p. 250–257

DC 621.314.2

Selischi, Al. and *Guzun, B.* : **Economic operation of autotransformers within power station networks**

The possibility is analysed of using autotransformers for the connection of generators to the system (their connection to the tertiary of the autotransformers), as well as the possibility of using the tertiary of these autotransformers for connecting a compensator or a synchronous motor.

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 258–267

DC 621.314.2

Buhuş, P. : **Theoretical premises of the Instructions regarding selection in design and further replacement in operation of transformers within stations**

The fields of economic usage of transformers within stations is analysed, aiming to establishing a selection and exploitation way of such transformers in conditions of an optimum interdependence between capital costs and the actual level of expenses due to power and energy losses.

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 267–274

FROM THE ELECTRIFICATION PAST OF ROMANIA

DC 621.311.1.001.1

Morţun, C. : **Electrification of Alba District**

Energetica 26 (1978), nr. 7–8, p. 274–277

REVIEWS

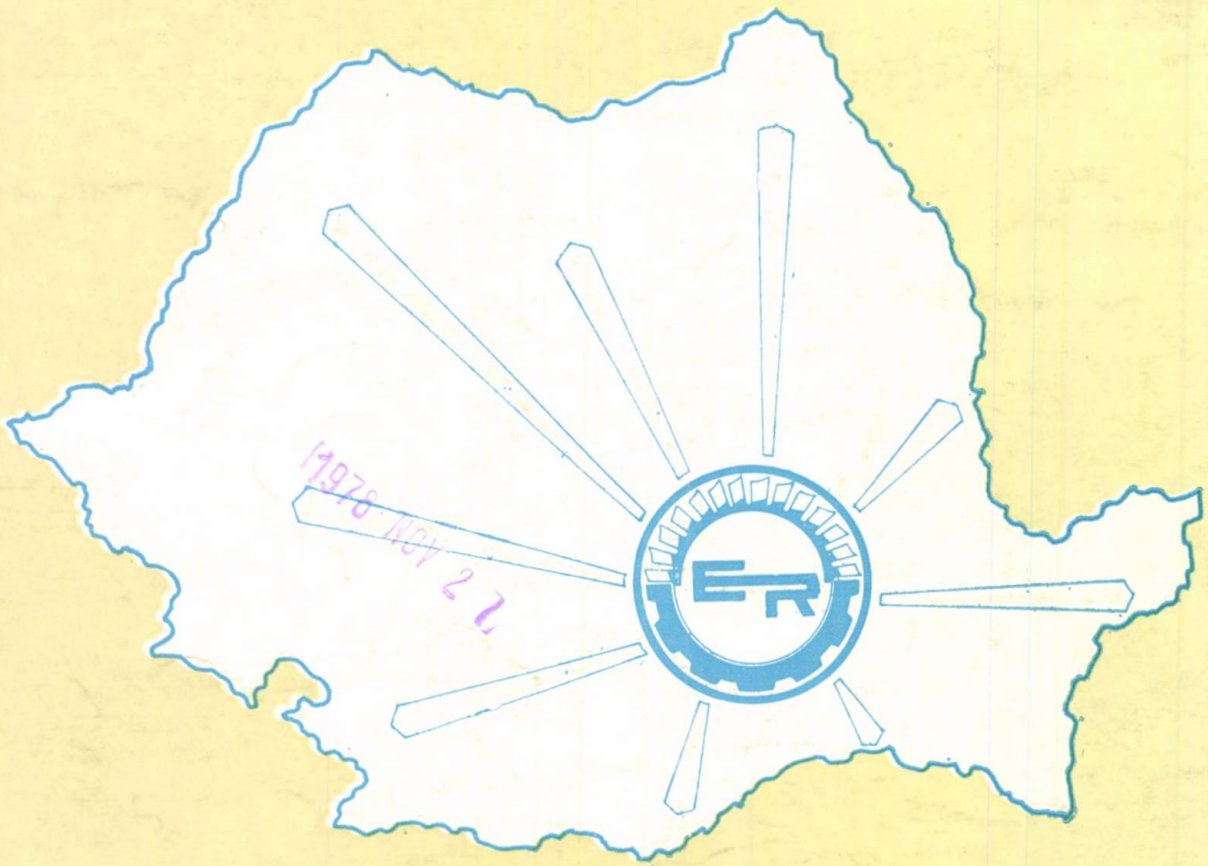
Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Str. Doamnei 14 — 16, Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I.P.I. c. 457

41 401

ENERGOREPARAŢII

Bucureşti, Bd. Mărăşeşti nr. 2, sector 5
Telefon : 23.26.40



1978 IUL 27

Execută pentru sectorul energetic :

Dispozitive, mecanisme, utilaje şi agregate, destinate mecanizării muncii din activitatea de construcţii-montaj de producere şi distribuţie a energiei electrice, de reparare a agregatelor energetice etc.

Utilaje, părţi de utilaje sau subansambluri necesare lucrărilor de investiţii din sectorul energetic (pompe de combustibil, pompe de injectat ciment, acţionări pneumatice cu ventile, batardouri, grătare pentru stavile etc.).

Reparaţii la : turbine cu abur, turbine hidraulice, generatoare electrice, compresoare, motoare electrice, motoare diesel stabile.

Piese de schimb pentru : turbine cu abur şi hidraulice, cazane de abur, instalaţii pentru pregătirea şi transportul combustibilului, motoare cu ardere internă şi compresoare, instalaţii şi utilaje auxiliare din centrale (pompe, ventilatoare, vane etc.).

Asistenţă tehnică în probleme de : vibraţii la agregate şi palete, echilibrări grupuri, analize defectoscopice, metalografice etc.

Recepţia la furnizori a echipamentelor energetice (turbine pentru centrale termo- şi hidroelectrice, generatoare, cazane, pompe etc.).

E 2039

MW

9

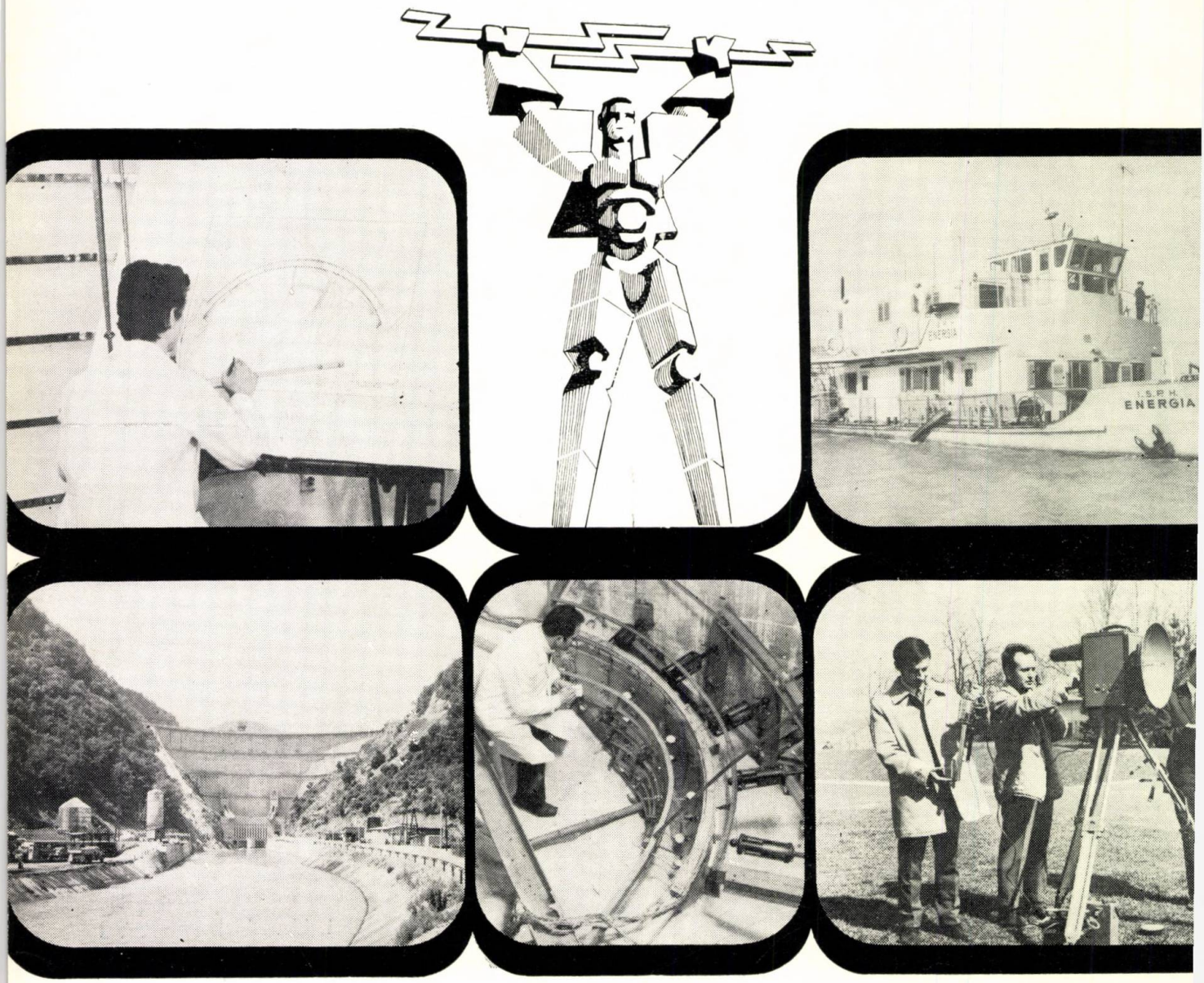
REFERÁLVA

VOLUMUL XXVI
BUCUREŞTI
SEPTEMBRIE 1978

energetica

ISPH

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



I. S. P. H. Designing Institute with complex profile offers :

- Consulting-engineering for hydroelectrical power developments
- Studies and designs
  - dams
  - tunnels, canals, conduits
  - hydroelectric power stations
  - pumping stations
  - locks
- Topographical and geodetical survey
- Investigations and field studies
  - hydrology, hydraulics
  - geology, geotechnics, hydrogeology
  - soil and rock mechanics
  - geophysics
  - drillings
  - mining works
- Laboratory tests
  - structural and photoelastic n
  - hydraulic models
  - concrete technology
  - materials for earth and rock-fill dams

I. S. P. H.

BUCUREȘTI , Bd. Republicii 29 , Tel. 14 72 7o , Telex oll-443

1978 NOV 30

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 9 septembrie

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

Cuprinsul

		Pag.
L. Stanisavlievici	**Regimurile chimice ale apei pentru cazane**	282—286
C. Dumitru şi *P. Treanţă-Ghiţescu*	**Reducerea consumului specific de combustibil la turbinele cu abur cu condensaţie folosind o metodă de control permanent al infiltraţiilor aerului în condensator**	286—290
H. Bednar, I. Sabău şi *I. Silberg*	**Puritatea uleiurilor electroizolante**	291—293
Fl. Predan	**Determinarea nivelurilor de tensiune optime dintr-o reţea electrică, corespunzătoare consumurilor proprii tehnologice minime**	294—299
A. Popescu, A. Cristovici, D. S. Necşulescu şi *F. Vatră*	**Consideraţii privind implicaţiile utilizării liniilor electrice aeriene multiplu circuit**	300—311
PUNCTE DE VEDERE		
M. Stein şi *G. Popescu*	**Puncte de vedere privind insularizarea unor centrale electrice de termoficare pe consum local**	311—315
CRONICĂ		
C, Văideanu	**Stadiul protecţiei şi valorificării creaţiilor ştiinţifice şi tehnice protejabile la Institutul de cercetări şi modernizări energetice la finele anului 1977**	315—324
N. Dănilă şi *N. Niculescu*	**A VI-a Consfătuire a termoenergeticienilor**	325
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice

Regimurile chimice ale apei pentru cazane

Ing. **L. Stanisavlievici**

În exploatare, se aplică în prezent, pentru cazanele cu densitate mare a fluxului termic, unul din următoarele regimuri chimice ale apei de alimentare: regimul alcalin, cunoscut de mult și folosit în marea majoritate a exploatărilor, și regimul neutru sau slab alcalin, cu dozare de oxigen, elaborat mai recent și încă puțin introdus.

În anumite condiții specifice favorabile se aplică un regim chimic fără dozare de alcalii, nici de oxigen; acest mod de lucru constituie o excepție, dar criteriile sale de aplicare — nefiind generalizabile — derivă totuși din acelea ale modurilor de lucru mai sus menționate.

Regimul chimic al apei de alimentare reprezintă ultima intervenție exterioară, avînd scopul de a evita pe traseul circuitului termic, și anume în partea „rece" a acestuia (ieșire condensator — intrare degazor), impurificarea apei. Aceste impurificări pot fi: de natură ionică, coloidale, de compuși complecși, precum și suspensii solide; ele sînt consecința contactului apei cu metalul echipamentului: oțel-carbon, respectiv alamă.

Condițiile în care se aplică aceste regimuri chimice sînt:

— concentrații în substanțe ionice ale apei, la intrarea ei în circuitul termic, de ordinul 10^{-7} mol/kg pînă la 10^{-5} mol/kg;

— lipsa impurităților de natură organică, avînd caracter oxidant sau reducător;

— condiții de curgere neturbulentă și cu viteză practic constantă;

— temperatura fluidului în creștere de-a lungul traseului.

Dacă interacțiunea metal/apă nu este blocată în mod eficient prin formarea pe suprafața metalului a straturilor oxidice protectoare, sau dacă apar fenomene de eroziune provocate de condiții hidrodinamice nefavorabile, produsele acestor dereglări pătrund odată cu apa în cazan. Impurități de această natură pot provoca în scurt timp neajunsuri în exploatare.

Cînd interacțiunea metal/apă este blocată eficient, iar condițiile hidrodinamice sînt corespunzătoare, apa de alimentare conține doar cîteva μg/kg de impurități în soluție (sau în suspensie), în plus față de acelea pe care le conține la intrarea ei în circuitul termic. Ele provin din mecanismul normal și continuu de degradare și de refacere — la nivel de echilibru dinamic — al straturilor oxidice protectoare existente.

Concentrația tolerată de impurități dizolvate în apa de alimentare a cazanelor constituie unul dintre parametrii de calitate, impuși prin reglementări; acestea mai prevăd o serie de parametri chimici și fizici de calitate a apei, ansamblul lor fiind cuprins în controlul analitic de rutină din exploatare.

Regimurile chimice ale apei, definite ca mai sus, sînt controlate și dirijate numai pe baza a cîtorva din acești parametri, în plus printr-un indice — potențialul redox, care este caracteristica proprie a lor.

*

Comparînd diagramele electrochimice, simplificate, pentru fier (fig. 1) și pentru cupru (fig. 2), construite pentru concentrațiile în săruri solubile care pot apărea în apa de ali-

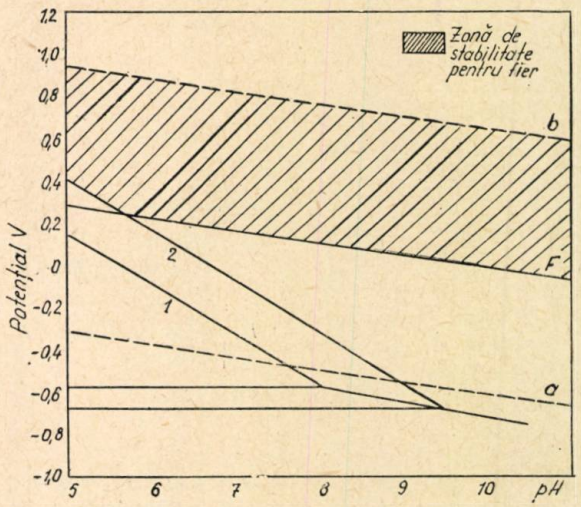


Fig. 1. Diagramă electrochimică V/pH, simplificată, pentru fier.
1 — concentrația ionică în apă 10^{-4} mol/kg.
2 — concentrația ionică în apă 10^{-7} mol/kg.

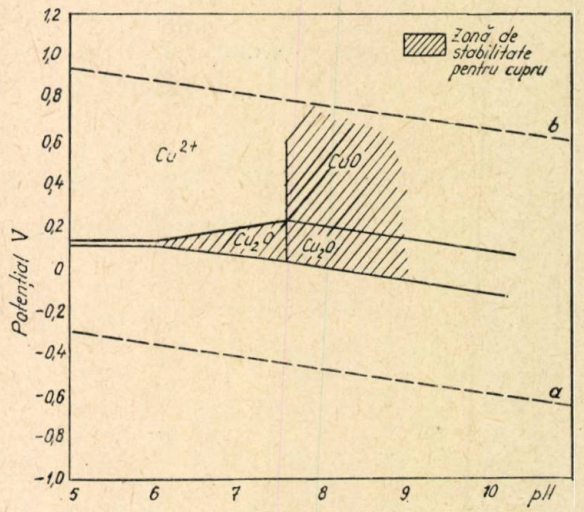


Fig. 2. Diagramă electrochimică V/pH, simplificată, pentru cupru. Concentrația ionică în apă 10^{-7} mol/kg.

mentare și pentru temperatura la care se execută determinările, se pot desprinde cîteva constatări esențiale:

— Stabilitatea termodinamică a metalului, oțel-carbon, respectiv alamă, poate fi asigurată

la valori pH foarte diferite; aceasta este mai vădit la fier decît la cupru. Condiția este însă ca potențialul redox, coordonat cu valoarea pH, să corespundă cert în diagramă zonei de stabilitate a metalului. Influențarea potențialului în sensul dorit, adică a creșterii sale în domeniul valorilor pozitive, se realizează prin: lipsa din apă a impurităților cu caracter reducător; suprimarea dozării în apă a unor asemenea substanțe (cazul hidrazinei); asigurarea prezenței în apă a unui acceptor de electroni în concentrație necesară.

— Condițiile diferite de stabilitate termodinamică a fierului și cuprului impun restrîngerea plajei disponibile de valori pH și de potențial redox. În cazul prezenței simultane a oțelului și a aliajelor de cupru în echipamentele termomecanice ale circuitului de apă — situație practic normală actualmente în exploatare —, regimul chimic alcalin este limitat la anumite valori pH; regimul chimic neutru, cu dozaj de oxigen, pierde uneori caracterul său specific, fiind realizat prin valori pH slab alcaline.

— În domeniul de valori pH, în care au loc interacțiunile metal/apă de care ne ocupăm aici, zona de stabilitate termodinamică a fierului nu este modificată dacă concentrația apei în ioni străini se mărește cu cîteva ordine de mărime.

— Condensatul aburului cazanelor de înaltă presiune, ca de altfel apa de alimentare, are o salinitate — în cazul în care nu se dozează amoniac — de ordinul a 10^{-7} mol/kg. Instalațiile de demineralizare a condensatului mențin constantă această puritate; în lipsa acestora, echipamentul de calitate, precum și intervenția promptă a exploatării limitează durata și intensitatea impurificării condensatului la minimum.

În regimul alcalin, în circuitul termic al apei, salinitatea ei corespunde ordinului de mărime 10^{-5} mol/kg, în care este inclus și amoniacul adăugat.

— Zona de stabilitate termodinamică a cuprului, pînă la valori pH = 7,5 (deci practic neutre), nu este influențată de salinitatea apei; un adaos de 0,1 mg NH_3/kg, corespunzător la 10^{-5} mol/kg, ridică valoarea pH la 9. În consecință, diagrama electrochimică pentru cupru, construită ca în figura 2, este valabilă pentru controlul și dirijarea ambelor regimuri chimice.

— Oxizii cuprului, Cu_2O și CuO, constituie, fiecare, straturi protectoare ale alamei, blocînd mecanismul interacțiunii cupru/apă, dar condițiile lor de stabilitate termodinamică sînt diferite.

Oxidul Cu_2O prezintă stabilitate la valori pH pînă la 7,6 și la potențiale redox pozitive mici, de circa 100 mV; la valori pH > 7,6 (dar pînă la max. pH = 9) potențialul redox trebuie să aibă valori chiar mai mici de 100 mV.

Oxidul CuO prezintă stabilitate în plaja de valori pH mai mari de 7,6 și pînă la 9, potențialul redox pozitiv avînd valori de cîteva sute de mV.

Solubilitatea ambilor oxizi în apă și în abur este foarte mică, de ordinul microgramelor pe kg, oxidul CuO marcînd o solubilitate ceva mai mare decît oxidul Cu_2O.

În ceea ce privește depunerile de cupru, din abur, pe paletele turbinelor, la schimbarea de stare, se depune preferențial oxidul mai puțin solubil, Cu_2O, formînd stratul topotactic; în continuare se depune, ca strat epitactic, un amestec de oxizi: CuO și Cu_2O. Pentru exploatare este avantajos ca regimul chimic al apei de alimentare — oricare ar fi el — să fie dirijat astfel ca interacțiunea metal/apă să se desfășoare în zona de stabilitate termodinamică a oxidului CuO.

Diagrama electrochimică pentru cupru arată că ansamblul condițiilor conjugate în vederea blocării interacțiunilor oțel/apă și alamă/apă chiar impune existența oxidului CuO. Vom reveni cu precizări în cele ce urmează.

Regimul chimic alcalin

Conform metodicii practicate aproape fără excepție, acest regim este dirijat numai prin valoarea pH, pe baza rezultatelor măsurătorilor de control al calității apei de alimentare, la intrarea ei în circuitul termic. Din ansamblul parametrilor caracteristici sînt luați în considerare mai ales conținutul în fier total și cupru total, care trebuie să fie, simultan, cît mai mic.

Reglementările — generale sau interne — fixează valorile pH care trebuie menținute, sau plaja de valori; aceasta este de regulă destul de restrînsă, de ordinul zecimilor de unități pH. Reglementările, valabile pentru un mare ansamblu de exploatări sau pe cuprinsul unei țări, sînt în numeroase cazuri adoptate aidoma, datorită prestigiului de care se bucură, și de către alte țări.

Este evident că în asemenea cazuri nu se poate ține seama de aspectele specifice care pot interveni, influențînd valoarea pH optimă pentru blocarea mecanismului interacțiunii metal/apă (cum ar fi calitatea materialului folosit, calitatea uzinării și a montajului echipamentului termomecanic, condițiile de exploatare). O plajă de valori pH foarte restrînsă, impusă prin reglementări, împiedică o eventuală ajustare a ei, permanentizînd astfel o situație necorespunzătoare, care, în final, se atribuie altor cauze.

Rațional este să se procedeze în mod invers: prin măsurători sistematice, coordonate, se stabilește plaja valorilor pH care asigură — în condițiile specifice ale exploatării — o blocare a interacțiunii metal/apă, adică un conținut cît mai redus de fier și cupru în apa de alimentare.

Dar nici această metodologie nu poate reprezenta o soluție valabilă. Dozarea concomitentă

de amoniac şi de hidrazină, sub formă de soluţii diluate, este o practică foarte răspîndită. Adaosul de hidrazină se execută în vederea eliminării oxigenului rezidual din apă, după degazarea ei termică, conform concepţiei că oxigenul, chiar în condiţiile date, favorizează coroziunea oţelului. Găsirea şi menţinerea condiţiilor optime de stabilitate termodinamică a metalului, numai pe baza valorii *p*H, în prezenţa unui reducător şi în necunoaşterea valorii potenţialului redox, devin incerte şi labile [1].

Stabilitatea termodinamică a unui metal, în acest caz oţelul-carbon şi alama, este determinată de coordonarea a doi parametri : potenţialul redox şi valoarea *p*H a apei. Măsurarea lor se efectuează conform metodologiei impuse în acest caz, iar coordonarea are loc prin localizarea lor în diagrama electrochimică, simplificată, construită pentru metalul respectiv şi pentru condiţiile de concentraţie ionică a apei.

Regimul chimic alcalin foloseşte însă numai unul dintre aceşti parametri — valoarea *p*H —, în vreme ce celălalt parametru — potenţialul redox — poate fi influenţat, chiar în mod sensibil, de prezenţa în apă a unor impurităţi organice sau de către hidrazina dozată. Este deci de înţeles că nu poate fi justificată generalizarea rezultatelor obţinute într-o exploatare dată.

Diagramele electrochimice — aşa cum sînt date în figurile 1 şi 2 — arată că stabilitatea termodinamică a fierului şi cuprului poate fi asigurată simultan, realizînd în apă valori *p*H pînă la max. 9 şi potenţiale redox pozitive de 250—300 mV.

La parametrii indicaţi, oxidul stabil termodinamic al cuprului este CuO. Dacă potenţialul redox are valori mai mici, apar condiţiile de stabilitate pentru oxidul Cu_2O, nedorit din motivele indicate mai înainte, dar nu mai este asigurată stabilitatea termodinamică a oţelului.

În lipsa din apă a unor substanţe reducătoare, cum este mai ales hidrazina, potenţialul redox pozitiv necesar este asigurat de către prezenţa acceptorului de electroni. Acesta este oxigenul rezidual din apa de alimentare la intrarea ei în circuitul termic, dar a cărui concentraţie este, de regulă, variabilă, deşi mică. Nefiind adăugat în mod deliberat şi în cantităţile teoretic necesare, concentraţia necesară de oxigen din apă poate fi insuficientă ; mărirea valorii *p*H, cu ajutorul soluţiei de amoniac, permite satisfacerea condiţiilor de stabilitate a metalului, ionii OH^- activînd formarea hidroxidului metalului, care duce la formarea oxizilor protectori, aşa cum rezultă grafic din diagramele electrochimice.

Regimul chimic cu dozare de oxigen

Acest regim are la bază unele cercetări mai vechi, efectuate în S.U.A., privind rolul oxigenului din apă în mecanismul de coroziune a oţelului. Sistematizarea observaţiilor făcute ulterior în exploatare şi fundamentarea teoretică a diferitelor aspecte ale mecanismului care se desfăşoară au condus la elaborarea unui regim chimic raţional pentru apa din circuitul termic.

Salinitatea apei la intrarea în circuitul termic corespunde, în genere, la 10^{-7} mol/kg ; oxigenul se dozează, continuu, sub forma unei soluţii diluate de apă oxigenată.

Regimul este dirijat prin coordonarea a doi parametri : potenţialul redox şi valoarea *p*H a apei. Acest din urmă parametru este menţinut, în concordanţă cu criteriile teoretice, în limitele neutralităţii practice ale apei, adică 6,5—7,5.

În raport cu exigenţele condiţiilor specifice locale (prezenţa alamei în echipament şi calitatea ei), regimul chimic este deplasat în domeniul de *p*H slab alcalin, prin dozaj de soluţie amoniacală, dozajul oxigenului nefiind afectat prin această modificare.

Justificarea este următoarea :

Coordonarea celor doi parametri se face pe diagrame electrochimice simplificate, construite pentru condiţiile date ; rezultatele măsurătorilor din exploatare trebuie să se situeze permanent şi cert în zona de stabilitate termodinamică a metalelor fier şi cupru.

Blocarea interacţiunii fier/apă la valori *p*H de 6,5—7,5 necesită un potenţial redox pozitiv de $\geqslant 300$ mV.

La aceşti parametri, stabilitatea cuprului nu este asigurată. Potenţialul redox ar trebui să aibă valori de ≈ 100 mV.

Valori de potenţial redox de ≈ 100 mV, în apa practic neutră, nu asigură însă stabilitatea termodinamică a fierului.

Situaţia impune deci un compromis : se măreşte valoarea *p*H pînă la un domeniu uşor alcalin, prin dozarea de soluţie amoniacală, menţinîndu-se dozarea controlată a oxigenului. Parametrii de funcţionare vor fi : valoarea *p*H = 7,6—8,5 şi potenţialul redox pozitiv de 300—400 mV. Regimul nu mai are drept caracteristică o valoare *p*H neutră, ci numai dozarea de oxigen.

Oxigenul necesar blocării interacţiunii metal/apă este stabilit pe bază de criterii teoretice [2] ; necesarul lui scade pe măsură ce creşte temperatura apei şi a metalului şi pe măsură ce interacţiunea metal/apă este blocată de către straturile de oxizi formate pe suprafaţa (interioară) a metalului. O cantitate de oxigen mai mică decît cea teoretic necesară, la temperatura dată, nu are efectul dorit ; un exces pînă la valori de ordinul 10^2 μg/kg faţă de valoarea teoretică nu perturbă desfăşurarea mecanismului de interacţiune. Acest lucru este justificat de consideraţii teoretice, iar măsurătorile sistematice îl confirmă. De altfel, aprecierile făcute în cele de mai sus sînt în concordanţă cu experienţa de exploatare recentă şi cu concluziile ce se desprind [3], [4], [5].

Cele două regimuri chimice ale apei, practicate în prezent, sînt considerate ca echivalente, cel cu dozare de oxigen constituind o alternativă pentru regimul alcalin. Dacă ar fi aşa, se ridică justificat dubiul asupra însăşi oportunităţii unei alternative în acest domeniu al tehnicii. În realitate, cele două regimuri nu sînt echivalente; regimul chimic cu dozare de oxigen reprezintă un progres tehnic, avînd la bază o fundamentare teoretică corespunzătoare concepţiilor recente în această materie.

Compararea aspectelor caracteristice ale celor două regimuri chimice confirmă aceste aprecieri.

Regimul chimic alcalin. Parametrul principal — valoarea *p*H — este fixat în general prin reglementări şi, mai rar, de către exploatări pe baza experienţei proprii, în condiţii specifice bine determinate. Trebuie notat că prevederile diferitelor reglementări existente nu concordă între ele şi o generalizare a uneia sau alteia dintre ele, respectiv o adaptare, nu poate prezenta nici o bază justificabilă. Menţinerea sau chiar depăşirea unor valori *p*H anumite poate favoriza formarea complexului cupru-diamin, solubil în apă. Acest complex nu este reţinut de către schimbătorii de ioni din instalaţiile convenţionale pentru demineralizarea condensatului, ci numai de către un schimbător slab acid, fenolic.

Dozarea hidrazinei în apa de alimentare degazată termic, practică foarte răspîndită încă şi aparent justificată, este în realitate neindicată, dintr-un dublu motiv:

— În condiţiile date, de puritate a apei, de concentraţie foarte mică a oxigenului dizolvat şi de curgere, metalul nu este supus unei acţiuni agresive. Aceasta corespunde concepţiilor teoretice şi este verificat, fără excepţie, în practică. După degazorul termic, interacţiunea metal/apă este practic blocată spontan (sub efectul factorului temperatură); oxigenul rezidual, dizolvat în apă, nu mai are rol în mecanismul interacţiunii. Este prin urmare lipsită de raţiune preocuparea de a elimina din apă oxigenul dizolvat: acesta are un rol folositor în partea „rece" a circuitului termic şi un rol indiferent în partea „caldă" a circuitului.

— Prezenţa unui reducător, ca hidrazina, în apă şi absenţa unui acceptor de electroni, pot coborî potenţialul redox la valori pozitive foarte mici, sau chiar negative, ceea ce, chiar la valori *p*H alcaline, creează condiţii de instabilitate termodinamică a metalului, pe tot parcursul circuitului termic.

Realizarea unui regim chimic corect numai pe baza unui singur parametru caracteristic reprezintă de fapt o tatonare în a găsi şi a menţine condiţiile optime pentru blocarea interacţiunii metal/apă. Antagonismul electrochimic fier-cupru introduce o complicaţie în plus în această problematică.

Se impune raţionalizarea acestui regim în vederea eliminării neajunsurilor de care este afectat. În acest scop:

— trebuie suprimat adaosul de hidrazină;

— pentru controlul şi dirijarea regimului să fie folosită şi măsurarea potenţialului redox;

— valoarea *p*H şi potenţialul redox trebuie coordonate prin localizarea lor în diagrame electrochimice, simplificate, construite pentru fier şi pentru cupru, corespunzător condiţiilor specifice date;

— lipsa, respectiv prezenţa în apa de alimentare a complexului cupru-diamin, solubil şi stabil, trebuie verificată prin determinări analitice; rezultatele vor fi confruntate, în diagrame electrochimice, în vederea luării măsurilor care, eventual, se impun.

Parametrii recomandabili, conform celor expuse mai înainte, sînt:

— valoarea *p*H a apei de alimentare limitată la 9; este preferabil să se menţină valori ceva mai mici decît aceasta;

— potenţialul redox, cel puţin 200 mV.

Regimul chimic cu dozare de oxigen. Metodologia acestui regim poate avea o valabilitate generală, deoarece condiţiile specifice din exploatare o influenţează doar într-o măsură redusă, iar această influenţă poate fi stabilită în mod univoc.

Parametrii de bază: valoarea *p*H şi potenţialul redox sînt coordonaţi şi trebuie să corespundă în permanenţă condiţiilor de stabilitate termodinamică a metalului respectiv, localizate în diagrame electrochimice, simplificate, construite pentru fier şi pentru cupru.

Antagonismul fier-cupru va fi, la nevoie, controlat şi chiar eliminat, prin ajustarea valorii *p*H; din domeniul neutru, aceasta este deplasată în domeniul slab alcalin, prin dozare de soluţie amoniacală în apa de alimentare. În cele precedente au fost indicate valorile *p*H care trebuie realizate. Metoda, în acest caz, nu mai poate revendica denumirea de „regim neutru"; caracteristica ei, în comparaţie cu regimul chimic alcalin, rămîne dozarea controlată a oxigenului, folosind o soluţie de apă oxigenată.

Controlul şi dirijarea acestei variante de metodă se execută, de asemenea, cu ajutorul unor diagrame electrochimice.

*

În ambele regimuri chimice, degazorul termic al apei de alimentare rămîne cu rolul de treaptă de preîncălzire (prin amestec), funcţionarea lui trebuind adaptată acestui scop.

Bibliografie

[1] Stanisavlievici, L. *Regimul chimic alcalin al apei şi folosirea hidrazinei.* În: Energetica, 25, nr. 9, 1977.

[2] Stanisavlievici, L. *Neutrale Fahrweise mit Sauerstoffdosierung.* În: Wärme, 80, nr. 3, 1974.

[3] Held, H. D. *Die Möglichkeiten der chemischen Konditionierung des Dampf-Kondensat Kreislaufs in Kraftwerksblöcken.* A IV-a Conferință națională privind raționalizarea instalațiilor de tratare a apei în centralele mari de condensație, Karlovy-Vary, noiembrie 1977.
[4] Bosholm, J. *Neuere Erkentnisse zur chemischen Fahrweise von Dampferzeugern.* A IV-a Conferință națională privind raționalizarea instalațiilor de tratare a apei în centralele mari de condensație, Karlovy-Vary, noiembrie 1977.
[5] Bohnsack, G. *Sauerstoff und pH-Wert im Kondensat von Wasser-Dampf-Kreisläufen.* A IV-a Conferință națională privind raționalizarea instalațiilor de tratare a apei în centralele mari de condensație, Karlovy-Vary, noiembrie 1977.

(Articol intrat în redacție la 19 aprilie 1978)

Reducerea consumului specific de combustibil la turbinele cu abur cu condensație folosind o metodă de control permanent al infiltrațiilor aerului în condensator

Ing. **C. Dumitru**
și matem. **P. Treanță-Ghițescu***)

Este știut că prezența aerului în condensatorul unei turbine cu abur este nedorită deoarece, înrăutățind schimbul de căldură de la abur la țevi, determină o creștere a temperaturii de condensare și o scădere a vidului.

Totodată existența aerului prilejuiește și o oarecare creștere a gradului de subrăcire a condensatului, cît și a conținutului de oxigen al acestuia.

Toate acestea sînt urmate de înrăutățirea economicității funcționării agregatului.

Este necesar de aceea să se cunoască permanent în exploatare debitul de aer infiltrat și, pe cît posibil, locurile neetanșe.

1. Metode cunoscute de control al infiltrațiilor

În momentul de față, la turbinele care nu au dispozitive de măsură a debitului de aer extras din condensator, pentru a aprecia starea de etanșeitate a părții aflate sub vid se recurge la așa-numitele „probe de cădere a vidului". Acestea constau în oprirea periodică a extragerii aerului din condensator pe o durată de aproximativ 5—6 min, urmărindu-se modificarea vidului. Valoarea „căderii vidului" [mmHg/min] indică astfel starea de etanșeitate momentană, iar printr-un calcul, care presupune cunoscut volumul aflat sub vid, se poate determina și debitul de aer infiltrat [1].

Proba de „cădere a vidului" necesită mai mulți operatori pentru manevrarea vanelor de pe conductele de aspirație a aerului, pentru citirea vidului etc. Manevrele repetate asupra vanelor amintite pot să afecteze etanșeitatea acestora. De asemenea, pe timpul efectuării probei temperatura de condensare poate varia destul de mult, în funcție de debitul de aer infiltrat, putînd să apară dilatații necorespunzătoare la corpul de joasă presiune al turbinei sau la condensator, fără a mai insista și asupra înrăutățirii randamentului pe durata probei.

O altă metodă, care permite localizarea neetanșeităților, se bazează pe detectarea cu o sursă de ionizare a unor gaze (altele decît aerul sau aburul) care se eliberează în zona suspectată a fi neetanșă [2] și [3]. Metodele se folosesc în general după efectuarea probei de vid, ca mod de depistare a infiltrațiilor, și necesită precauții în ceea ce privește răspîndirea gazului în atmosferă în zona în care este eliberat, deoarece poate intra prin alt loc neetanș decît cel vizat.

2. Metoda propusă

Metoda expusă în articolul de față, și care a fost exprimentată cu succes la CTE Iernut, se bazează pe măsurarea continuă, sau la anumite intervale de timp, a temperaturii pe conductele de aspirație a aerului din condensator. Valoarea temperaturii măsurate se compară cu valoarea temperaturii de condensare (la buraj), existentă în acel moment. Cu cît diferența între cele două temperaturi este mai mare, cu atît debitul de aer infiltrat este mai mare. Deoarece această diferență este dependentă și de sarcina turbinei (în cazul în care sînt infiltrații, diferența crește rapid cu scăderea sarcinii), trebuie de avut grijă ca pentru comparații privind starea de etanșeitate să se folosească valori citite la aceeași sarcină a grupului.

Măsurătorile se pot face fie cu termometre de laborator cu mercur, amplasate în teci pe conductele de aspirație a aerului și la buraj, fie utilizînd termorezistențe sau termocuple etalonate corespunzător, cu citire sau înregistrare locală sau centralizată.

3. Explicarea metodei

Este știut că înainte de a fi extras din condensator, amestecul aer-abur trece prin răcitorul de aer aflat în interiorul condensatorului (fig. 1). Rolul răcitorului de aer este de a condensa o cantitate cît mai mare din aburul conținut în amestec și totodată de a răci aerul, prin aceasta mărind eficacitatea ejectorului.

*) Ing. Constantin Dumitru și matem. P. Treanță-Ghițescu sînt cercetători științifici la ICEMENERG.

Să presupunem, la limită, că debitul de aer infiltrat este nul ($G_a = 0$). În acest caz, ejectorul va extrage numai abur, iar procesul care are loc în răcitorul de aer este acela de condensare cvasiizobară a aburului. Temperatura

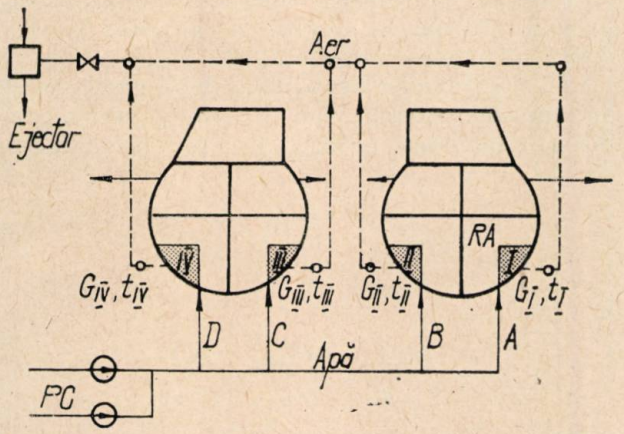


Fig. 1. Poziționarea răcitoarelor de aer și a conductelor pentru circulația aerului extras și a apei de răcire la condensatorul turbinei de 100 MW de la CTE Iernut.

măsurată pe conducta de aspirație este în acest caz o temperatură ideală maximă, ea fiind apropiată de temperatura de condensare, și anume: corespunde saturației vaporilor de apă la o presiune egală cu cea din condensator, din care s-a scăzut pierderea de presiune în răcitorul de aer.

Cazul real corespunde însă existenței unui debit de aer infiltrat datorită neetanșeităților, care nu pot fi reduse niciodată la zero, aceasta reprezentînd o imposibilitate tehnică. Starea aerului în răcitorul de aer este aceea de aer umed saturat, vaporii de apă existenți nefiind în nici un caz supraîncălziți. În răcitorul de aer are loc un proces de răcire uscată a aerului pe curba de saturație ($\varphi = 100\%$), proces trasat în diagrama $i-x$ a aerului umed, aflat la presiunea din răcitorul de aer (fig. 2). La trecerea prin răcitorul de aer cantitatea de

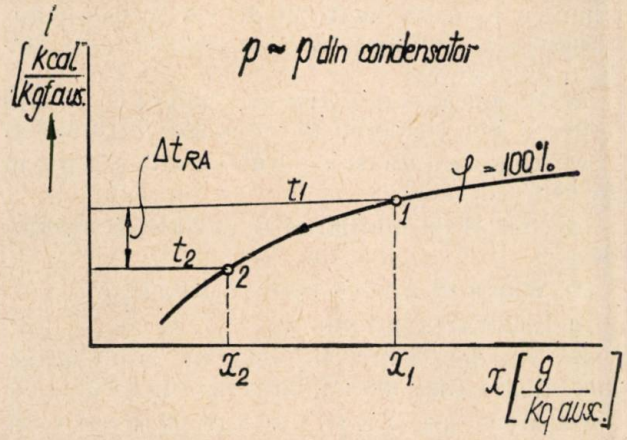


Fig. 2. Reprezentarea procesului din răcitorul de aer în diagrama $i-x$ a aerului umed la presiunea din condensator:
$\Delta t_{RA} = t_1 - t_2$
x_1 — conținutul de abur al aerului la intrare în RA; x_2 — conținutul de abur al aerului la ieșire din RA.

abur, x, se micșorează ajungînd la o valoare ce corespunde saturației aerului la temperatura de ieșire din răcitorul de aer. Se neglijează eventualele picături antrenate. Considerînd aerul și vaporii de apă drept gaze perfecte, se poate scrie:

$$x_s = 0{,}622 \frac{P_{v_s}}{P - P_{v_s}}, \qquad (1)$$

unde

x_s este conținutul de abur al aerului saturat, kg abur/kg aer uscat extras;
P_{v_s} — presiunea parțială a vaporilor saturați (la temperatura de ieșire din RA), mmHg;
P — presiunea amestecului în conducta de aspirație, mmHg.

Mărimea x_s se mai poate defini și ca raportul între debitul de abur extras și debitul de aer extras. Pentru a putea aprecia proporția de aer extras odată cu un kg de abur, se va introduce noțiunea de conținut specific de aer la saturație:

$$y_s = \frac{1}{x_s} = \frac{1}{0{,}622} : \frac{P - P_{v_s}}{P_{v_s}}, \qquad (2)$$

unde y_s este conținutul specific de aer, în kg aer uscat/kg abur. Se observă din relația (2) că, cu cît P_{v_s} este mai scăzut (corespunzător unei temperaturi mai scăzute a amestecului aer-abur), cu atît y_s crește; deci cantitatea de aer extras crește în raport cu cantitatea de abur.

Valorile lui x_s și y_s se pot determina ușor cunoscînd valoarea presiunii P (prin măsurare), iar valoarea presiunii P_{v_s} se determină din tabelele de abur saturat, la temperatura amestecului măsurată la ieșirea din răcitorul de aer.

Temperatura minimă pe care o poate lua amestecul aer-abur este limitată de temperatura apei de răcire din răcitorul de aer, dar ea, desigur, nu se obține niciodată, chiar în cazul unor infiltrații masive de aer.

Dacă în exploatare apare la un moment dat o scădere a temperaturii aerului extras din condensator și dacă sarcina grupului, debitul și temperatura apei de răcire au rămas neschimbate (temperatura la buraj constantă sau chiar mărită), putem fi siguri că aceasta se datorează unor infiltrații sporite de aer.

4. Folosirea metodei pentru determinarea macrozonei de infiltrație

În general, din motive de simetrizare a curgerii, extragerea aerului se face corespunzător fiecărei jumătăți de condensator. Acolo unde grupul posedă două condensatoare gemene (vezi fig. 1), numărul conductelor de aspirație a aerului crește. Datorită acestui fapt este

posibil un control zonal al aerului infiltrat, deoarece, intrînd printr-un anume loc, acesta nu ocupă tot volumul condensatorului, fiind antrenat de curentul de abur şi ajungînd să afecteze doar o zonă mai restrînsă. Afirmaţia este bazată şi pe faptul că drumul liber mijlociu al moleculelor de aer aflate în condiţiile din condensatorul unei turbine cu abur are valori foarte mici în raport cu dimensiunile recipientului, şi anume doar de ordinul micronilor. Prezenţa fascicolelor de ţevi poate împiedica într-o măsură oarecare difuzia amestecului spre zone mai îndepărtate. Ar putea exista o anume rezervă asupra celor afirmate, pentru cazul în care pătrunderea aerului se face în jet (cu energia cinetică nedisipată). Acest caz corespunde existenţei unor orificii clar delimitate în carcasa tubului de eşapare sau carcasa condensatorului etc., ceea ce nu se întîlneşte în general în practică.

Dacă la diferitele conducte de aspiraţie a aerului se măsoară temperaturi diferite, debitul de aer infiltrat şi respectiv extras va fi mai mare pe conducta pe care se măsoară temperatura cea mai coborîtă faţă de temperatura de condensare.

În cazul în care geometria traseelor amestecurilor aer-abur este identică pentru fiecare din conductele de aspiraţie, iar racordarea acestora se face în paralel la acelaşi ejector, se poate demonstra, în cazul amestecurilor de greutăţi specifice diferite, următoarea relaţie (3), pentru debitele gravimetrice :

$$\frac{G_{\mathrm{I}}^2}{\gamma_{\mathrm{I}}} = \frac{G_{\mathrm{II}}^2}{\gamma_{\mathrm{II}}} = \ldots = \frac{G_n^2}{\gamma_n}, \qquad (3)$$

unde

$G_{\mathrm{I}}, G_{\mathrm{II}}, \ldots, G_n$ sînt debitele de amestec aspirat prin fiecare conductă, kg/h ;

$\gamma_{\mathrm{I}}, \gamma_{\mathrm{II}}, \ldots, \gamma_n$ — greutăţile specifice ale amestecurilor, kgf/m³.

În cazul debitelor volumetrice se poate demonstra relaţia :

$$V_{\mathrm{I}}^2 \cdot \gamma_{\mathrm{I}} = V_{\mathrm{II}}^2 \cdot \gamma_{\mathrm{II}} = \ldots V_n^2 \cdot \gamma_n, \qquad (4)$$

în care $V_{\mathrm{I}}, V_{\mathrm{II}}, \ldots, V_n$ sînt debitele volumetrice pentru fiecare conductă, m³/h.

Pentru calculul greutăţii specifice se poate folosi formula (5), [4] :

$$\gamma = \frac{P}{R_a \cdot T} - \frac{P_v}{T} \cdot \left[\frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_v}\right], \qquad (5)$$

unde

P este presiunea absolută în conductă ;

P_v — presiunea parţială a aburului ;

T — temperatura absolută a amestecului aer-abur ;

R_a, R_v — constanta generală a gazului pentru aer, respectiv vapori.

Desigur că, variind temperatura, debitele gravimetrice şi volumetrice de amestec extras vor diferi de la o conductă la alta, conform relaţiilor (3) şi (4). Pentru gama de variaţie a temperaturilor amestecului aer-abur întîlnită în practică la diferite conducte de aspiraţie, se poate afirma că debitele de amestec nu vor diferi între ele cu mai mult de 5%.

Considerînd că avem acelaşi debit gravimetric de amestec extras prin fiecare conductă, se poate demonstra, raportînd la prima conductă, că :

$$\frac{G_{a_{\mathrm{II}}}}{G_{a_{\mathrm{I}}}} = \frac{1+x_{\mathrm{I}}}{1+x_{\mathrm{II}}}; \quad \frac{G_{a_{\mathrm{III}}}}{G_{a_{\mathrm{I}}}} = \frac{1+x_{\mathrm{I}}}{1+x_{\mathrm{III}}} \ldots \qquad (6)$$

şi

$$\frac{G_{v_{\mathrm{II}}}}{G_{v_{\mathrm{I}}}} = \frac{1+y_{\mathrm{I}}}{1+y_{\mathrm{II}}}; \quad \frac{G_{v_{\mathrm{III}}}}{G_{v_{\mathrm{I}}}} = \frac{1+y_{\mathrm{I}}}{1+y_{\mathrm{III}}} \ldots \qquad (7)$$

unde

$G_{a_{\mathrm{I}}}, G_{a_{\mathrm{II}}}, G_{a_{\mathrm{III}}} \ldots$ sînt debitele gravimetrice de aer uscat extrase prin fiecare conductă ;

$G_{v_{\mathrm{I}}}, G_{v_{\mathrm{II}}}, G_{v_{\mathrm{III}}} \ldots$ — debitele gravimetrice de abur ;

$x_{\mathrm{I}}, x_{\mathrm{II}}, x_{\mathrm{III}} \ldots$ — conţinutul de umezeală al aerului [kg abur/kg aer uscat], calculat cu formula (1) ;

$y_{\mathrm{I}}, y_{\mathrm{II}}, y_{\mathrm{III}} \ldots$ — conţinutul specific de aer [kg aer uscat/kg abur], calculat cu relaţia (2).

În acest mod se poate aprecia cu cît este mai mare debitul de aer extras (respectiv infiltrat) printr-o conductă faţă de alta, fără a avea însă neetanşeităţi pe traseul conductelor de aspiraţie.

5. Influenţe perturbatoare

În afară de valoarea debitului de aer infiltrat, valoarea temperaturii amestecului aer-abur ce iese din răcitorul de aer al condensatorului este influenţată de o serie de alţi factori, şi anume :

a) Mărimea suprafeţei de schimb a răcitorului de aer şi modul de circulaţie a fluidelor.

b) Temperatura şi debitul apei de răcire în răcitorul de aer.

c) Gradul de murdărire al ţevilor răcitorului de aer.

d) Starea de funcţionare a ejectorului.

e) Încărcarea grupului.

Se va demonstra în cele ce urmează că hotărîtoare este numai influenţa factorului e).

Deoarece s-a arătat că este interesant să cunoaştem nu atît valoarea absolută a temperaturii aerului extras, ci ecartul acesteia faţă de temperatura de condensare, se va elimina din discuţie factorul constructiv, a), care

poate influența acest ecart, dar care nu suferă modificări în exploatare.

Factorul b) suferă modificări, dar, odată cu acesta, se modifică în același sens atît temperatura de condensare, cît și temperatura la aspirația aerului.

Gradul de murdărire (factorul c) acționează nu asupra potențialului termic, ca în cazul b), ci asupra fluxului termic (coeficientul de schimb de căldură), afectînd în același sens atît temperatura aerului extras, cît și temperatura de condensare. Se apreciază că, datorită modificării lente în timp a gradului de murdărire, efectul perturbator al acestuia asupra ecartului Δt_{RA} (v. fig. 2) să fie de asemenea neglijabil. La aceasta contribuie și suprafața destul de mare de schimb de căldură a răcitorului de aer (aprox. 10% din suprafața totală), care intervine ca un factor atenuator. Trebuie avut însă în vedere ca la aplicarea metodei pentru descoperirea macrozonei de infiltrație, răcitoarele de aer aferente fiecărei conducte să aibă un grad de murdărire apropiat.

Factorul d) intervine în situația în care survin modificări ale caracteristicilor ejectorului, datorită diferitelor cauze (încărcarea duzelor cu depuneri, eroziuni, descentrări, funcționarea defectuoasă a pompelor de apă în cazul ejectoarelor cu apă etc.). În aceste situații, ejectorul va trebui totuși să extragă întreaga cantitate de aer infiltrat, deoarece o acumulare permanentă de aer în condensator ar duce la scăderi nepermise ale vidului. Astfel, vidul și temperatura de condensare se vor stabiliza într-un punct de echilibru, corespunzător stării momentane a ejectorului. Această situație afectează în același sens atît temperatura de condensare, cît și temperatura aerului extras, așa încît influența stării de funcționare a ejectorului se poate neglija.

Singurul dintre factorii perturbatori cu influență directă și destul de spectaculoasă (în caz de infiltrații), asupra ecartului de temperatură, Δt_{RA}, este încărcarea grupului (factorul e). Pe măsură ce sarcina grupului scade, ecartul Δt_{RA} crește substanțial pentru conducta de aspirație aferentă zonei cu infiltrații. Explicația constă în faptul că la sarcini reduse debitul de abur scade, iar participația aerului în amestec crește.

6. Testarea metodei. Rezultate experimentale

Testarea metodei s-a făcut la CTE Iernut, atît la grupul de 100 MW, cît și la grupul de 200 MW.

Pentru studierea efectului infiltrațiilor de aer în condensator, s-a recurs la introducerea unui debit de aer controlat, utilizînd orificii calibrate de anumite diametre. În toate situațiile, deoarece presiunea din condensator era cu mult mai mică decît presiunea critică, la ieșirea din orificiu aerul infiltrat atingea viteza sunetului. Considerînd coeficientul de debit al orificiilor de ordinul (0,76 ÷ 0,9), s-a determinat debitul de aer infiltrat suplimentar și care se adaugă debitului de aer inițial. În figura 3 se vede clar, pentru grupul de 200 MW, cum scade temperatura pe conducta de aspi-

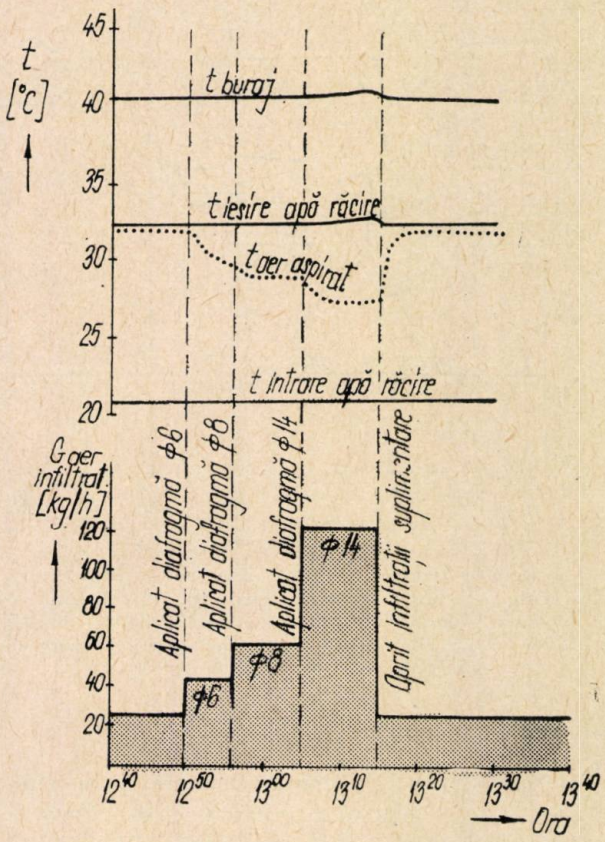


Fig. 3. Probă de infiltrații suplimentare, cu evidențierea scăderii temperaturii pe conducta de aspirație a aerului la grupul de 200 MW, CTE Iernut (P = 192 MW).

rație, pe măsură ce debitul de aer infiltrat crește.

Pentru studierea efectului celorlalți parametri (puterea turbinei, debitul de apă de răcire, suprafața de schimb etc.), s-au făcut încercări la grupul 4 de 100 MW. Rezultatul este prezentat în figura 4. Se observă clar cum temperatura t_{III}, aferentă conductei de aspirație de pe condensatorul din stînga, unde avem infiltrații de aer, nu urmărește variația temperaturii de condensare, așa cum se întîmplă pe conducta aferentă firului B (II). Deci ecartul între temperatura de condensare și temperatura aerului extras din condensator este o funcție dependentă în special de debitul infiltrat și de sarcina grupului.

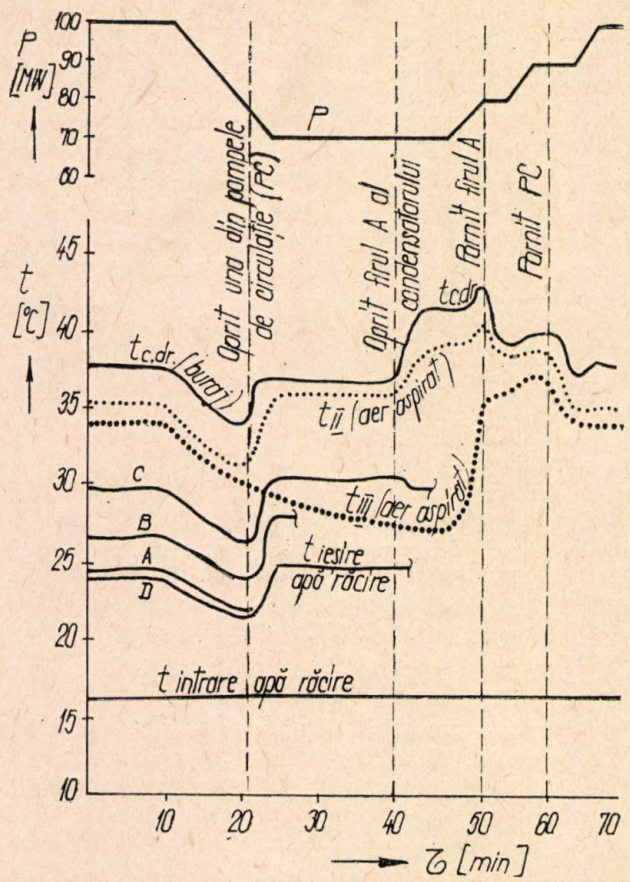


Fig. 4. Variația temperaturii de condensare, a temperaturii amestecului aer-abur extras din condensator și a temperaturii apei de răcire, modificînd puterea grupului, debitul de apă de răcire și suprafața de schimb a condensatorului la turbina de 100 MW de la CTE Iernut.

Concluzii

Metoda expusă se caracterizează prin simplitate și prin ușurința punerii ei în practică.

Procedeul se pretează la o urmărire continuă, de rutină, în timpul funcționării, a stării de etanșeitate a instalației.

Stabilirea macrozonei de infiltrație se va face folosind metoda expusă (cap. 4), urmînd ca delimitarea microzonei să se facă utilizînd aparatul Halodet 0,2 de concepție ICEMENERG.

Folosind relația (6), se poate determina (în cadrul ipotezelor menționate) proporția de aer extras prin fiecare conductă de aspirație.

Se menționează că ipoteza luată în considerare în lucrare privitor la starea de saturație a amestecului aer—abur aspirat stă și la baza diagramei Schröder [7], cu privire la determinarea cantităților de aer și abur extrase de ejector.

Prin utilizarea metodei se poate renunța la probele de cădere a vidului, avînd însă grijă să se facă comparații ale stării de etanșeitate pentru aceeași sarcină termică a condensatorului.

În încheiere se apreciază că metoda poate fi de un real folos în exploatare, ea încadrîndu-se în eforturile îndreptate spre îmbunătățirea randamentului de producere a energiei electrice și termice, cît și de mărire a gradului de siguranță în funcționarea instalației.

Bibliografie

[1] Nicu, Vl. *Determinarea debitelor de aer aspirate de ejectorul de vid din condensatorul turbinelor cu abur în funcțiune.* In: Energetica, nr. 10, 1963.

[2] Cârdu, M. *Metodă pentru determinarea neetanșeităților pe partea de vid a instalațiilor de turbine cu abur, cu ajutorul izotopilor radioactivi.* În: Energetica nr. 2, 1962.

[3] Turcu, I. ș.a. *Mărirea gradului de etanșeitate la sistemul aflat sub vid al turbinelor cu abur prin utilizarea aparatului „Halodet-0,2".* Comunicare la simpozionul „Bilanț și perspective în activitatea de creație științifică și tehnică", București, 5—6 aprilie 1978.

[4] Ștefănescu, D. ș.a. *Bazele termotehnicii.* Editura didactică și pedagogică, București, 1970.

[5] Oplatka, G. ș.a. *Bases théoriques et réalisation des condenseurs à plusieurs faisceaux et leur emploi pour les turbines à vapeur de grande puissance.* In: Revue Brown Boveri, iul.—aug. 1973.

[6] Leca, A. ș.a. Conducte și rețele termice. Editura tehnică, București, 1974.

[7] Schröder, K. *Centrale termoelectrice de putere mare*, vol. III. Editura tehnică, București, 1971.

[8] Moțoiu, C. ș.a. *Posibilități de economisire a combustibililor și căldurii în centralele termice industriale și termoelectrice.* Editura tehnică, București, 1976.

(Articol intrat în redacție la 8 mai 1978)

Puritatea uleiurilor electroizolante

H. Bednar,
I. Sabău,
I. Silberg*)

1. Generalități

Proprietățile dielectrice ale uleiurilor minerale electroizolante sînt condiționate de puritatea și de caracteristicile structurale ale hidrocarburilor din compoziția produsului.

Efectele negative ale dispersiilor mecanice și apei sînt ușor de remediat, prin metode fizice accesibile marilor consumatori, dar contaminarea cu impurități solubile conduce la degradarea ireversibilă a uleiului, pentru că rerafinarea, unicul procedeu care poate reda produsului puritatea lui inițială, nu este încă practicabilă.

Impuritățile solubile sînt de două feluri, și anume:

— purtători de sarcină, adică formații moleculare ionizate, a căror concentrație determină conductibilitatea uleiului și implicit valoarea curentului de pierderi (tg δ), considerat cel mai semnificativ indicator al stadiului de alterare;

— promotori ai purtătorilor de sarcină, adică hidrocarburi cu stabilitate mai scăzută, eliminate doar parțial în cursul procesului de rafinare, sau substanțe străine provenite din contaminarea uleiului, care măresc de asemenea curentul de pierderi, dar nu imediat, ci cu efect întîrziat, generînd în timp purtători de sarcină.

Concentrația purtătorilor de sarcină este relativ ușor de stabilit, prin măsurarea pierderilor dielectrice, dar estimarea conținutului de promotori este mult mai dificilă, pentru că necesită măsurarea curentului de pierderi după efectuarea unei laborioase probe de îmbătrînire artificială, care durează 164 ore și reclamă personal de serviciu în trei schimburi.

Cu cît valorile măsurate înainte și după oxidare sînt mai apropiate, cu atît puritatea uleiului analizat este mai înaintată.

Ca urmare, valoarea pierderilor dielectrice are o dublă semnificație. Cînd este comparată cu valoarea măsurată înaintea probei de oxidare artificială reflectă *puritatea produsului*, iar cînd este comparată cu valoarea limită prevăzută în STAS 811 pentru uleiul nou reflectă *stadiul de alterare a produsului*.

Prin faptul că garanțiile de puritate oferite de producător încetează odată cu descărcarea furniturilor de ulei în rezervoarele beneficiarilor, iar impurificarea ulterioară a uleiului nu poate fi controlată de consumatori, fenomenele de alterare prematură în exploatare sînt puse irevocabil pe seama contaminării uleiului.

Lipsa unui procedeu care să permită și laboratoarelor uzinale controlul operativ al gradului real de puritate împiedică identificarea surselor de contaminare și stabilirea cauzelor adevărate care determină alterarea prematură a uleiului din transformatoare.

Cunoscînd mecanismul radicalic al proceselor premergătoare fenomenelor de ionizare, s-a recurs la utilizarea unui radical liber stabil, pentru a obține informații cu privire la conținutul impurităților ce înrăutățesc stabilitatea chimică a produsului.

2. Considerații teoretice

Majoritatea covîrșitoare a hidrocarburilor din compoziția uleiurilor electroizolante sînt relativ inerte din punct de vedere chimic, deoarece, sub temperatura de 100°C la care funcționează transformatoarele electrice, nu există suficientă energie pentru excitarea electronilor din orbitalii de legătură.

Există însă posibilitatea ca anumite molecule, mai puțin stabile ale impurităților din ulei, să acumuleze energia necesară unor tranziții electronice pe seama ciocnirilor elastice provocate de agitația termică.

Consecința este ruperea homolitică a legăturilor slabe de valență și formarea de radicali liberi:

$$R : R' \rightleftharpoons R. + R'.$$

Știind că uleiul dizolvă circa 10% aer în volume și că molecula de oxigen are caracterul unui biradical, datorită electronilor din cei doi orbitali de antilegătură, formarea peroxizilor și hidroperoxizilor în etapa inițială a proceselor de oxidare este pe deplin explicabilă:

$$R. + O_2 \longrightarrow R{-}O{-}O.$$

$$RH + ROO. \longrightarrow ROOH + R.$$

Energia legăturilor peroxidice fiind de asemenea mică, moleculele de acest fel reprezintă o binecunoscută sursă de radicali, ceea ce favorizează evoluția procesului de autooxidare:

$$ROOH \rightleftharpoons RO. + .OH$$

$$RH + RO. \longrightarrow ROH + R.$$

$$RH + .OH \longrightarrow OH_2 + R.$$

Acumularea, în perioada de inducție, a produselor intermediare de alterare care conțin heteroatomi de oxigen legați peroxidic determină deplasarea curbei de absorbție a uleiurilor în spectrul vizibil, spre lungimi de undă mai

*) Dr. Horst Bednar este profesor de chimie fizică la Universitatea Brașov; Ioan Sabău este șeful laboratorului chimic de la I.R.E. Sibiu; dr. Ioan Silberg este cercetător principal la Institutul de chimie din Cluj-Napoca.

mari, fără ca aciditatea organică sau tangenta unghiului de pierderi să crească în mod simțitor, deoarece purtătorii de sarcină sau produsele finale de oxidare cu caracter acid se găsesc încă într-o formă latentă.

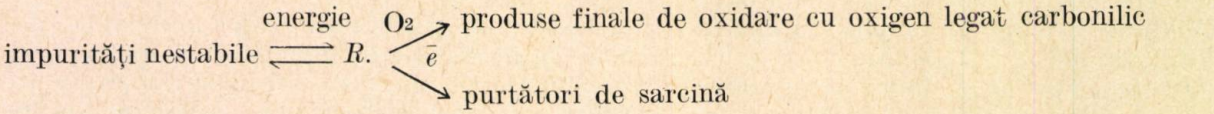
Formațiile moleculare ionizate, care afectează proprietățile dielectrice ale uleiului, iau naștere tot din radicali liberi, însă prin reacții de oxido-reducere, favorizate de efectul catalitic al metalelor tranziționale, utilizate în construcția transformatoarelor electrice :

$$R. + Me^{+} \longrightarrow R^{-} + Me^{++}$$

$$ROOH + Me^{+} \longrightarrow RO. + OH^{-} + Me^{++}$$

Datorită unor asemenea reacții de transfer, creșterea curentului de pierderi nu este condiționată de existența produselor finale de oxidare.

Rezultă deci că radicalii formați inițial pot urma două căi diferite de reacție :



dar amîndouă sînt condiționate de existența radicalilor liberi, a căror concentrație variază în funcție de concentrația impurităților nestabile, de durata de viață a radicalilor și de prezența sensibilizatorilor, substanțe de natură să absoarbă energie într-o zonă foarte largă a spectrului și să o cedeze apoi moleculelor învecinate.

Mecanismul acestui transfer de energie prin intermediul sensibilizatorilor, reprezentat schematic în felul următor :

$$D + h\nu \longrightarrow D^{*}$$

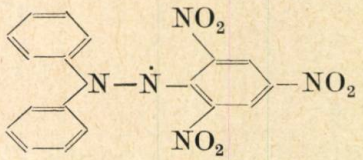
$$D^{*} + A \longrightarrow D + A^{*}$$

în care D este sensibilizator, iar A — acceptor, este răspunzător pentru creșterea surprinzătoare în cîteva zile a curentului de pierderi la un ulei electroizolant nou, introdus în cuva unui transformator de asemenea nou.

Posibilitatea ca uleiurile să fie contaminate nu numai în gospodăria de ulei, ci chiar în cuva transformatoarelor electrice, scoate în relief utilitatea unui mijloc analitic de investigație, care permite compararea gradului de puritate a unui ulei la anumite intervale de timp, sau înainte și după efectuarea unei transvazări.

De vreme ce nici oxidarea și nici ionizarea impurităților instabile nu sînt posibile fără apariția radicalilor liberi, concentrația acestora din urmă trebuie să fie strîns legată de puritatea uleiurilor și implicit de stabilitatea chimică.

Acest lucru s-a confirmat folosind o soluție de 2,2 difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) :



un radical liber stabil, care, în momentul cuplării electronului său neîmperecheat, suferă o vizibilă schimbare de culoare [1].

Soluția de DPPH în benzen sau cloroform este intens colorată în albastru-violet și prezintă în spectrul vizibil un maxim de absorbție la 532 nm.

La cuplarea electronului impar cu electronul unui alt radical liber, culoarea albastră a reactivului virează în galben [2], ceea ce permite urmărirea cantitativă a procesului prin metode fotometrice rapide de analiză.

Evident că determinarea curbei de consum a DPPH în funcție de timp nu poate înlocui proba de oxidare artificială efectuată conform prevederilor STAS 6798—63, dar oferă valoroase informații privitor la comportarea viitoare a uleiului analizat în exploatare.

Dependența duratei de serviciu a uleiurilor electroizolante neaditivate de concentrația impurităților care generează radicali liberi se poate pune în evidență prin determinarea rapidă a rezistenței la oxidare, pe cale fotochimică [3].

Determinările experimentale de puritate cu DPPH au arătat că plaja rezultatelor obținute este suficient de largă pentru a diferenția puritatea uleiurilor, iar reproductibilitatea pe deplin satisfăcătoare.

3. Tehnica determinărilor

Extincția unui amestec de ulei și DPPH în soluție benzenică de diluție cunoscută scade cu timpul, în funcție de concentrația radicalilor liberi din uleiul analizat.

Ca urmare, se prepară o soluție de 0,01% DPPH în benzen, din care 2 ml se diluează cu 3 ml benzen și, cu ajutorul unui spectrofotometru SPEKORD UV-VIS, se înregistrează curbe de absorbție în vizibil, între $22—16 \cdot 10^{3}$ cm^{-1}.

Extincția în jur de 1,2 unități de densitate optică, corespunzătoare maximului de absorbție aflat la 532 nm, reprezintă primul punct al curbei care indică micșorarea în timp a conținutului de radicali liberi.

Se repetă determinarea la intervale de 3 minute, cu un amestec de 2 ml soluție 0,01%

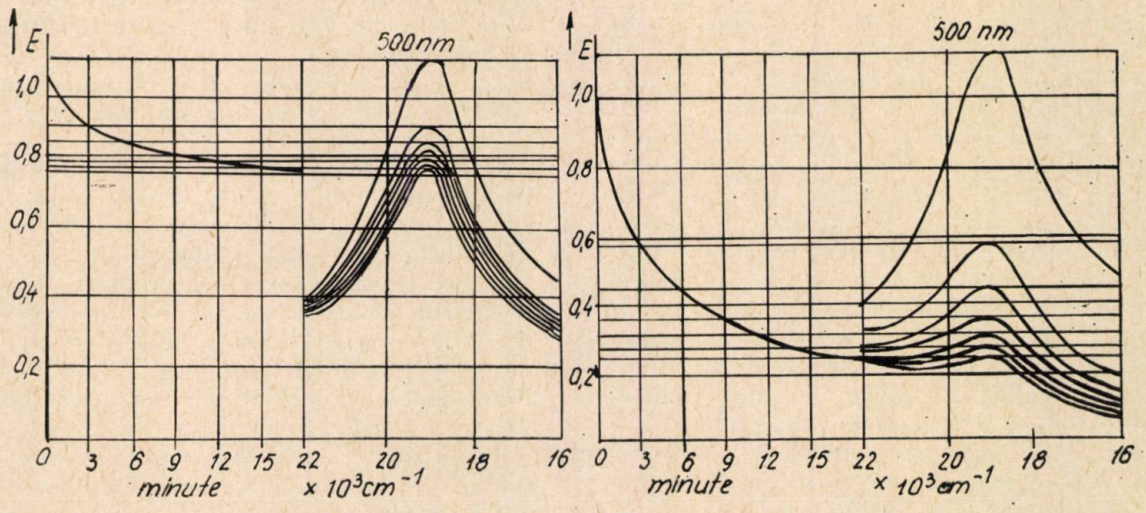
DPPH, 1 ml ulei şi 2 ml benzen, folosind programul înregistrărilor ciclice automate, cu care spectrofotometrul este înzestrat.

O scădere lentă a intensităţii maximului de absorbţie indică lipsa radicalilor liberi şi un grad înaintat de puritate.

Dimpotrivă, o scădere accentuată a absorbţiei reflectă prezenţa în cantitate mare a radicalilor şi indirect puritatea necorespunzătoare a uleiului analizat.

Rezultatele se analizează pe o curbă extincţie-funcţie de timp, a cărei pantă se corelează foarte bine cu stabilitatea chimică a produsului.

În figura de mai jos sînt reprezentate două exemple care ilustrează eficienţa procedeului.



Asemenea determinări se pot executa şi cu un spectrocolorimetru SPEKOL, dar acesta nu prezintă avantajul măsurătorilor automate.

Temperatura este un factor care influenţează rezultatul determinărilor, deoarece poate deplasa în ambele sensuri echilibrul dintre fracţiunile radicalice şi promotorii lor. Această influenţă este uşor de pus în evidenţă dacă se determină pentru acelaşi ulei curbele de consum ale DPPH la două temperaturi diferite, cu ajutorul unor accesorii care permit termostatarea probelor de analizat. În consecinţă, pentru a asigura reproductibilitatea rezultatelor, se vor comparara numai date obţinute la aceeaşi temperatură.

Curba corespunzătoare temperaturii mai ridicate se deplasează faţă de prima în funcţie de energia legăturilor de valenţă a moleculelor instabile, care determină formarea radicalilor liberi, astfel că efectul temperaturii variază de la probă la probă.

Concluzii

1. Valoarea pierderilor dielectrice nu reflectă puritatea uleiurilor electroizolante, ci stadiul lor de alterare determinat de concentraţia purtătorilor de sarcină.

Lipsa impurităţilor ionizate nu garantează şi lipsa promotorilor din care aceştia iau naştere, deci rezistenţa la îmbătrînire a uleiului respectiv.

2. Puritatea reală a uleiurilor este asigurată numai de absenţa componentelor cu stabilitate chimică scăzută din compoziţia produsului, însă determinarea acestei proprietăţi este inaccesibilă consumatorilor.

3. Confuzia care domneşte cu privire la puritatea aparentă şi cea reală a fost generată şi întreţinută de lipsa unor metode analitice care să permită controlul gradului de puritate după livrarea uleiului şi chiar după introducerea lui în cuva transformatoarelor electrice .

4. Amorsarea proceselor de oxidare şi de ionizare fiind condiţionată de formarea radicalilor liberi, dozarea acestora cu DPPH pe cale fotometrică permite controlul gradului de puritate reală.

5. Informaţiile obţinute cu privire la puritatea reală permit urmărirea comparativă a comportării uleiului de la livrare pînă după umplerea transformatoarelor şi depistarea surselor de contaminare cu impurităţi, care micşorează durata de serviciu a acestui material.

Bibliografie

[1] Pryor, W. A. *Introduction to free radical chemistry.* Prentice—Hall Inc., New Jersey, 1966.

[2] * * * Chemiker—Zeitung/Chem. Apparatur, 89 (1965), 671, nr. 19.

[3] Sabău, I. *Procedeu rapid de oxidare fotochimică a uleiurilor electroizolante neadditivate.* În: Energetica nr. 9—10, 1975.

(Articol intrat în redacţie la 13 mai 1978)

Determinarea nivelurilor de tensiune optime dintr-o rețea electrică, corespunzătoare consumurilor proprii tehnologice minime

Dr. ing. **Fl. Predan***)

Pentru un sistem electroenergetic dat, la o anumită sarcină cerută de consumatori, rezultă o circulație de puteri prin elementele sistemului bine determinată. Această circulație conduce la consumuri proprii tehnologice care depind de puterile care circulă în elementele sistemului, dar depind și de tensiunile din nodurile sistemului și, pentru liniile electrice aeriene, și de condițiile atmosferice din momentul considerat.

La o anumită circulație de puteri, dacă tensiunile din noduri vor fi reglate la valori apropiate de cele maxime admisibile, se vor reduce consumurile proprii tehnologice în rezistențele elementelor sistemului, dar acestea vor crește în conductanțele lor, iar dacă aceste tensiuni vor fi reglate către valorile minime admisibile vor crește consumurile proprii tehnologice în rezistențele elementelor și vor scădea în conductanțele lor. Aceste contrarii sugerează existența unui set de valori ale tensiunilor din nodurile sistemului electroenergetic cuprinse între limitele admisibile, care vor conduce la consumuri proprii tehnologice minime.

Pentru sisteme electroenergetice mari, care evident funcționează buclat, problema este mai complicată, deoarece circulația de puteri în elementele sistemului depinde de tensiunile din nodurile sistemului, iar valorile optime ale acestor tensiuni depind de puterile care circulă prin elementele sistemului. Problema nu poate fi rezolvată decît utilizînd un calcul iterativ, și anume :

— se efectuează un calcul de regimuri permanente ale sistemului electroenergetic dat, din care rezultă o primă circulație de puteri în elementele lui ;

— pentru aceste circulații de puteri se determină tensiunile optime ;

— cu aceste tensiuni se repetă calculul de regim permanent ;

— se repetă determinarea setului de tensiuni optime din noduri corespunzătoare noilor puteri care circulă în elementele sistemului ;

— se repetă această succesiune pînă se obține o stabilizare a valorilor puterilor care circulă prin elementele sistemului și a valorilor tensiunilor optime din nodurile sistemului ;

— cu aceste valori se verifică rezerva de stabilitate a sistemului.

*) Dr. ing. Florin Predan este cercetător științific la ICEMENERG.

În legătură cu rezerva de stabilitate sînt necesare unele observații.

Pentru o anumită sarcină cerută de consumatori, satisfăcută de anumite surse disponibile în acel moment, și în prezența unei anumite configurații a rețelei de transport, rezultă un regim de circulații de puteri în elementele de transport ale sistemului electroenergetic și, de aici, un anumit grad de stabilitate statică a sistemului și un anumit grad de rezervă de stabilitate dinamică. Optimizarea conduce la ridicarea tensiunii de funcționare în nodurile de unde pornesc elemente de sistem foarte încărcate și la coborîrea tensiunii în nodurile la care se conectează elemente de sistem descărcate. Astfel se îmbunătățește stabilitatea în zona nodurilor care au o stabilitate către limită și se înrăutățește acolo unde rezerva de stabilitate este atît de mare încît nu pune probleme. Pe ansamblul sistemului stabilitatea se îmbunătățește.

O altă cauză de îmbunătățire a stabilității este însăși reducerea pierderilor de putere. Pierderile fac să crească circulația de puteri în elementele de transport și deci conduc la înregistrarea unei stabilități mai proaste. Minimizînd pierderile este tot ceea ce se poate obține ca micșorare a circulației de puteri în elementele de transport pentru un regim dat și deci ca îmbunătățire a stabilității din acest punct de vedere.

Problema tratată este interesantă pentru un sistem electroenergetic complex, dar este tot așa de interesantă și pentru o rețea radială sau buclată de distribuție de medie tensiune.

Este necesar de atras atenția că conductanța elementelor sistemului nu este de neglijat la nici un nivel de tensiune, și aceasta cu atît mai mult cu cît element al sistemului este și transformatorul a cărui conductanță nu este de neglijat. Ulterior vor fi analizate valorile acestor conductanțe.

Prin rezolvarea acestei probleme nu se obțin economii spectaculare de energie, dar cuantumul modest de economie ce se obține nu implică cheltuieli materiale suplimentare.

În cele ce urmează se tratează numai problema găsirii setului de valori ale tensiunilor din noduri care să conducă la valori minime pentru consumuri tehnologice de putere la o anumită circulație de puteri în elementele sistemului, celelalte probleme fiind tratate în mai multe lucrări de specialitate.

Determinarea tensiunilor optime din nodurile unui sistem electroenergetic

Consumurile proprii tehnologice de putere pentru o rețea electrică cu 1 laturi sînt date de relația :

$$\Delta P = \sum_{i,j} R_{ij} \frac{S_{ij}^2}{U_i U_j} + \sum_{i,j} G_{ij} U_i U_j ; \quad \begin{matrix} i, j \in n, \\ i < j \end{matrix} \quad (1)$$

unde

R_{ij}, G_{ij} reprezintă rezistența și conductanța elementului ij;

S_{ij} — puterea aparentă care circulă prin elementul ij;

U_i, U_j — tensiunile din nodurile i, j.

Trebuie menționat faptul că relația (1) este aproximativă deoarece orice element de sistem este producător sau consumator de energie reactivă și este consumator de energie activă, și deci pe parcursul lui puterea aparentă nu este constantă. În afară de aceasta, nici tensiunea nu este constantă pe parcursul drumului de curent al elementului respectiv. Adoptarea unor formule exacte ar complica foarte mult calculul. Pentru a se micșora erorile folosirii relației (1) se utilizează :

$$S_{ij}^2 = S_i\, S_j$$
$$U_{ij}^2 = U_i\, U_j$$

Este necesară minimizarea funcției (1) în prezența restricțiilor

$$U_i - U_{imin} \geqslant 0 \qquad (2)$$
$$U_i - U_{imax} \leqslant 0$$

Problema (1), (2) este o problemă de programare neliniară, care, avînd în vedere forma particulară a restricțiilor inegalități, se poate rezolva fără dificultăți deosebite.

Prin introducerea a $2\,n$ variabile suplimentare ε_i, μ_i condițiile-inegalități se pot transforma în condiții-egalități :

$$U_i - U_{imin} - \varepsilon_i = 0 \qquad (3)$$
$$U_i - U_{imax} - \mu_i = 0,$$

iar minimizarea funcției (1) se poate realiza prin aplicarea metodei lagrangianului [1].

Se obțin relațiile :

$$\frac{\partial L}{\partial U_i} = \sum_j G_{ij}\, U_j - \frac{1}{U_i^2} \sum_j R_{ij} \frac{S_{ij}^2}{U_j} + \lambda_i + \lambda_i' = 0 \qquad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = U_i - U_{imax} - \mu_i = 0 \qquad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i'} = U_i - U_{imin} - \varepsilon_i = 0 \qquad (6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \varepsilon_i} = \lambda_i' = 0 \qquad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_i} = \lambda_i = 0 \qquad (8)$$

Sistemul (4)—(8) conține $5\,n$ ecuații cu $5\,n$ necunoscute, dintre care $2\,n$ necunoscute λ_i, λ_i' sînt nule, $2\,n$ necunoscute secundare ε_i, μ_i se reduc la condițiile :

$$\varepsilon_i > 0 \qquad (9)$$
$$\mu_i < 0$$

de care trebuie să se țină seama în rezolvarea sistemului de n ecuații (4) cu n necunoscute, și anume se rezolvă sistemul (4) și se corectează soluțiile astfel încît să se respecte restricțiile (9), ceea ce este echivalent cu respectarea restricțiilor (2).

Rezolvarea sistemului de ecuații (4), care este de gradul patru, nu se poate realiza decît prin aplicarea unei metode numerice. Pentru realizarea unei convergențe rapide a soluțiilor se utilizează metoda Kani [2]. Se începe calculul cu un set de valori inițiale ale necunoscutelor și se consideră că aceste necunoscute sînt funcții de un parametru τ, care poate varia între 0 și 1. În final se ajunge la relația de recurență :

$$U_{i+1} = U_i + \Delta\tau \frac{\sum\limits_j R_{ij} \dfrac{S_{ij}^2}{U_j} - U_i^2 \sum\limits_j G_{ij}\, U_j}{2 U_i \sum\limits_j G_{ij} U_j} \qquad (10)$$

(vezi anexa 1),

unde U_i, U_j reprezintă valorile din pasul anterior. Împărțind intervalul $\tau \in 0-1$ în subintervale egale (de exemplu 0,2), se rezolvă numeric sistemul pornind de la valorile inițiale U_{i_0}. Pentru $\tau = 1$ se obțin rădăcinile căutate.

Valorile parametrilor elementelor sistemului electroenergetic necesare în calculul de optimizare

Indiferent de natura elementului de sistem considerat cît și de nivelul de tensiune la care funcționează el, rezistența acestui element se determină cu metodele clasice întîlnite în literatura de specialitate [3], fără a fi necesare precizări suplimentare.

În legătură cu conductanța elementelor de sistem sînt necesare unele precizări suplimentare.

La liniile electrice aeriene, pentru necesități practice, pierderile corona se determină folosindu-se un sistem de abace [4], dar nu se cunoaște o relație analitică de forma :

$$\Delta P_c = \Delta P_c\,(U), \qquad (12)$$

relație care ar fi necesară în procesul calculului de optimizare.

Sistemul de abace care se folosește aici se consideră că dă valori suficient de precise pentru calculele practice și este recomandat de CIGRE 1972 ca fiind cel mai potrivit pentru

aceste calcule. Pentru a realiza o relaţie de tipul (12) se procedează în modul următor :

— la tensiunea minim admisibilă se determină pierderea de putere corona pentru o anumită situaţie atmosferică existentă în momentul optimizătrii ;

— se realizează aceeaşi determinare la tensiunea maxim admisibilă ;

— se determină coeficientul k considerîndu-se că, între valorile minimă şi maximă a tensiunii de funcţionare a liniei, pierderea de putere corona variază liniar în raport cu pătratul tensiunii, deci este de forma :

$$\Delta P_c = k\, U^2 \qquad (13)$$

Coeficientul k se determină cu relaţia :

$$k = \frac{\Delta P_{c_{max}} - \Delta P_{c_{min}}}{U^2_{max} - U^2_{min}}, \qquad (14)$$

acest coeficient reprezentînd conductanţa medie a liniei în intervalul :

$$U \in U_{max},\ U_{min}.$$

La liniile de medie tensiune realizate în cablu, conductanţa nu este nulă, deoarece există pierderi în izolaţia cablurilor care nu pot fi neglijate în toate cazurile. Aceste pierderi transversale sînt date de fabrica furnizoare. Ca şi la linii, se consideră că ele sînt proporţionale cu pătratul tensiunii în intervalul $U \in U_{max},\ U_{min}$, şi astfel se poate obţine o funcţie analitică de tipul (13). Este necesar de atras atenţia că pentru cabluri cu izolaţie din hîrtie sau polietilenă aceste pierderi sînt mici, dar pentru cabluri cu izolaţie din PVC pierderile sînt destul de importante, ele fiind de circa 20 ori mai mari ca în primul caz.

La toate nivelurile de tensiune, calculul conductanţei transformatoarelor se realizează cu metodele clasice [3], astfel realizîndu-se funcţia de forma (13), necesară optimizării.

Aplicarea metodei de optimizare la cîteva cazuri practice

Metoda de optimizare prezentată mai sus a fost aplicată la reţeaua de 400 kV a sistemului nostru energetic pentru valori ale puterilor care circulă la un vîrf de sarcină şi, în aceleaşi condiţii, la o reţea de distribuţie radială de

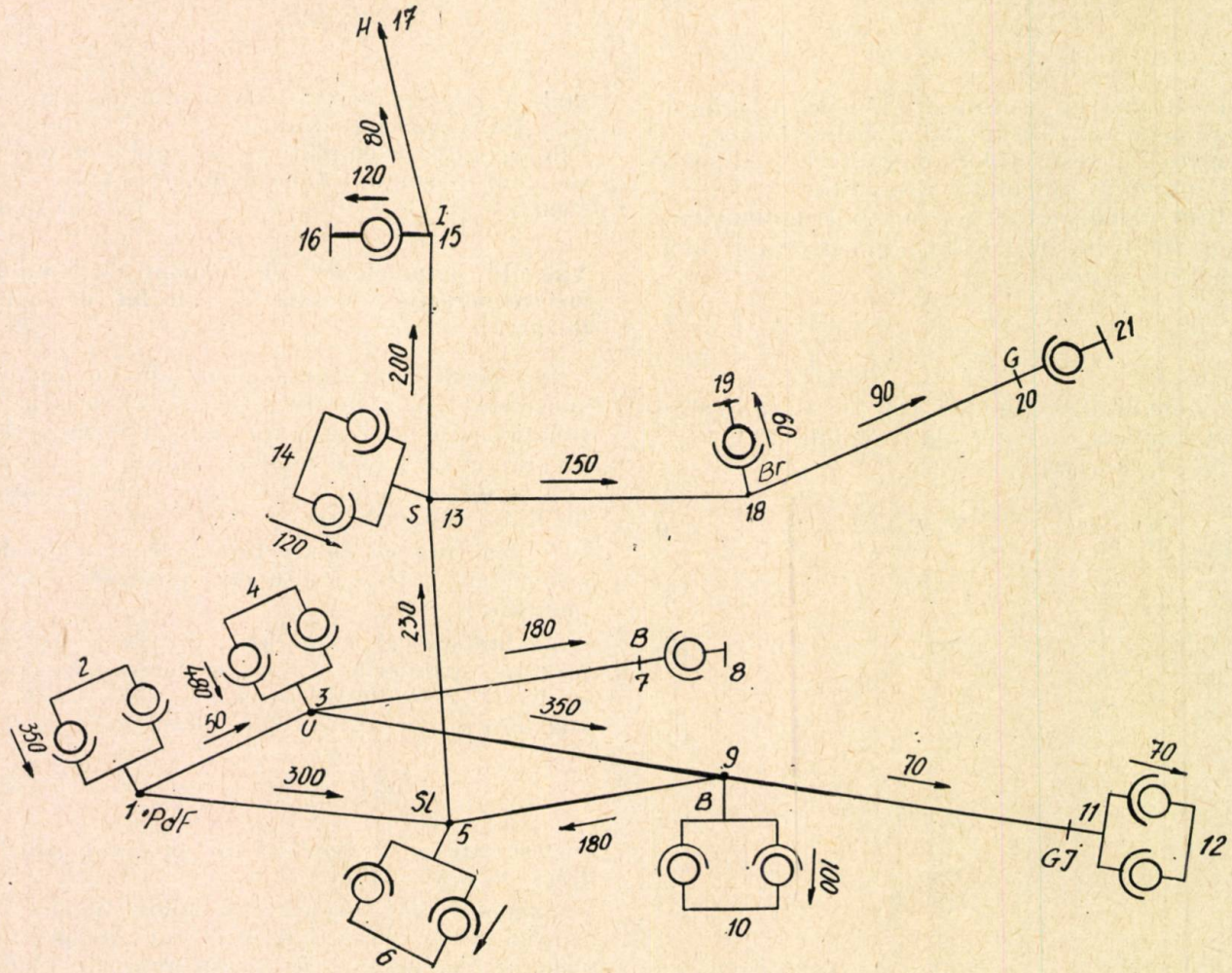


Fig. 1. Schema reţelei de 400 kV.

medie tensiune, realizată cu cabluri cu izolație din PVC. Tensiunile optime rezultate sînt prezentate în tabelele 1 și 2. Pentru rețeaua de 400 kV se prezintă și ecuațiile sistemului (4), precum și rezultatele obținute la fiecare pas în rezolvarea numerică a acestui sistem. În tabelele 3 și 4 sînt date și consumurile proprii tehnologice înregistrate la calculul lor cu relația (1), utilizînd valorile tensiunilor din noduri egale cu cele minime admisibile, egale cu cele maxim admisibile și egale cu cele rezultate ca optime. De aici se vede că reducerea consumului propriu tehnologic, deși nu este extrem de importantă, nu este de neglijat. În practică, evi-

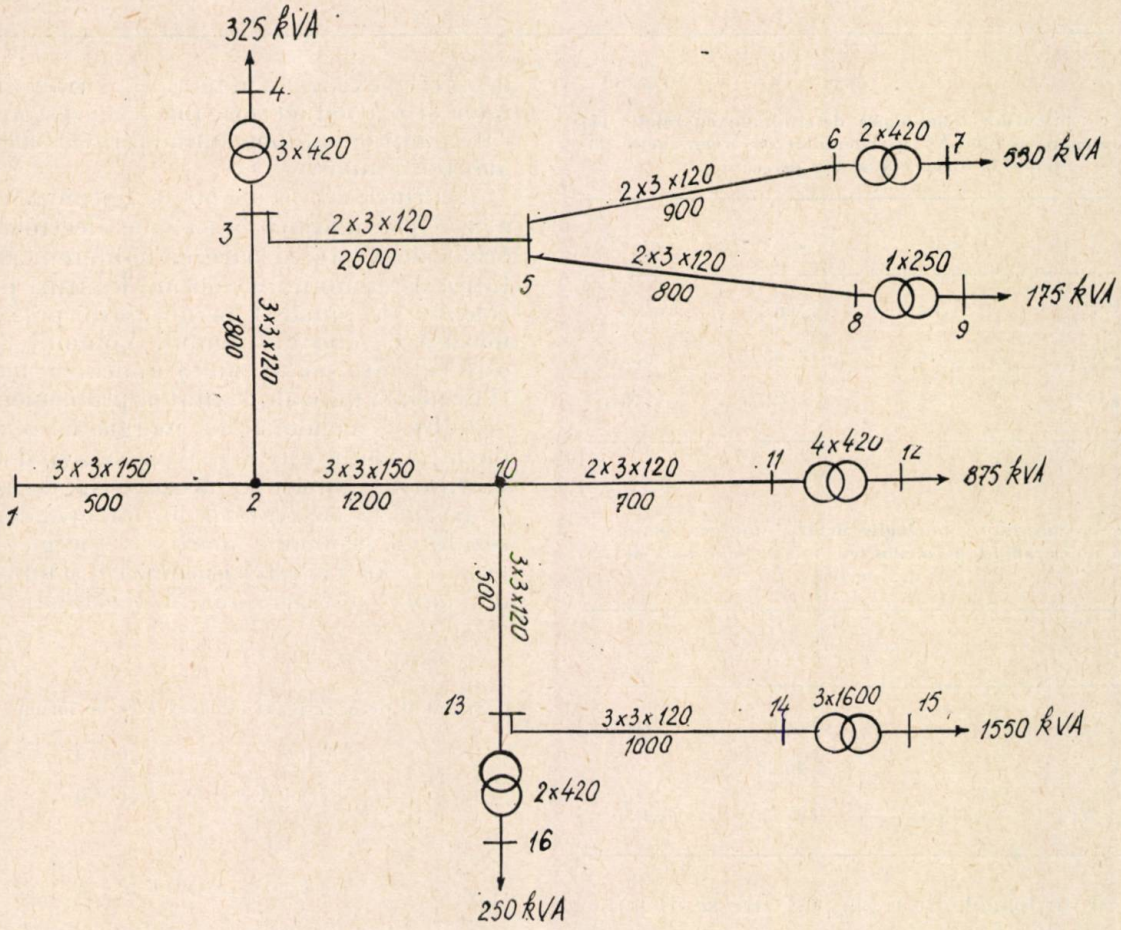


Fig. 2. Schema rețelei radiale de 10 kV.

Tabelul 1

Valorile optime ale tensiunilor din nodurile rețelei de 400 kV ale sistemului electroenergetic național corespunzătoare unei anumite sarcini, kV

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{16}	U_{17}	U_{18}	U_{19}	U_{20}	U_{21}
0	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
0,2	424	386	455	403	422	374	391	392	428	362	364	361	402	363	381	375	369	378	364	341	337
0,4	436	372	483	414	435	350	383	387	445	328	332	327	403	330	367	355	343	361	332	322	317
0,6	443	362	503	422	444	329	374	385	456	298	304	297	405	301	357	339	321	348	304	307	302
0,8	448	352	517	433	451	311	365	384	463	271	280	271	408	276	350	327	303	338	280	296	291
1	450	344	526	443	456	296	357	383	468	247	259	249	411	254	346	317	288	331	260	287	283
U_{ales}	420	380	420	420	420	380	380	383	420	380	380	380	411	380	380	380	380	380	380	380	380

Tabelul 2

Valorile optime ale tensiunilor din nodurile reţelei radiale de medie tensiune considerate

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{16}
Rez. din calcul	10,2	8,3	6,89	7,89	6,55	9,13	12,15	7,86	14,19	7,99	9,21	10,46	7,59	9,13	10,48	8,2
Ales	10,2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	10,5	9,5	10,5	9,5	9,5	10,46	9,5	9,5	10,48	9,5

Tabelul 3

Valorile consumurilor tehnologice determinate cu relaţia (1) pentru reţeaua de 400 kV a sistemului electroenergetic naţional la o sarcină de vîrf de seară

	$U_{i_{min.}}$, kV	$U_{i_{max.}}$, kV	$U_{i_{opt.}}$, kV
P_{tr} [kW]	14708,6	17968,1	16540,4
$P_{long.}$ [kW]	22046,7	18063,6	18632,7
$P_{tot.}$ [kW]	36755,3	36031,7	35173,1

Tabelul 4

Valorile consumurilor tehnologice determinate cu relaţia (1) pentru o reţea radială de medie tensiune la o sarcină de vîrf de seară

	$U_{i_{min.}}$, kV	$U_{i_{max.}}$, kV	$U_{i_{opt.}}$, kV
$P_{tr.}$ [kW]	99,86	121,05	101,75
$P_{long.}$ [kW]	57,17	46,23	53,05
$P_{tot.}$ [kW]	157,03	167,28	154,80

dent, cu mijloacele de reglaj de care se dispune, tensiunile se pot regla la valori apropiate de cele optime.

În cazul în care dispecerul sistemului energetic este obligat să dirijeze circulaţiile de puteri pe anumite artere de transport ale sistemului electroenergetic, el poate realiza aceasta şi aplicînd optimizarea tensiunilor din noduri, prin impunerea unor restricţii suplimentare funcţiei-obiectiv de optimizat, care să traducă în practică dirijarea impusă.

Concluzii

1. La medie tensiune, utilizarea tensiunii maxime admisibile nu conduce decît în foarte rare cazuri, şi anume cînd reţeaua este foarte încărcată, la consumuri proprii tehnologice minime, şi aceasta cu atît mai mult cu cît reţeaua este realizată din cabluri cu izolaţie din PVC. Aceasta nu se întîmplă pentru orice sarcină a reţelei, nici în cazul în care sînt instalate cabluri cu izolaţie din hîrtie sau polietilenă, deoarece există conductanţa transformatoarelor şi o conductanţă mică a acestor cabluri, care, împreună, pot influenţa valorile optime ale tensiunilor.

2. Principial, problema de optimizare tratată aici se poate aplica la sisteme electroenergetice oricît de vaste, deoarece, indiferent de vastitatea sistemului, un nod are legături puţine cu celelalte şi numărul lor nu creşte prea mult pe măsură ce creşte sistemul. Volumul de calcul este cel care poate limita aplicarea acestei optimizări, şi nu complexitatea problemei.

3. Deşi economia de energie la o reţea de medie tensiune este relativ mică, avînd în vedere vastitatea numărului acestui tip de reţele cît şi posibilitatea tratării lor independente, aici rezultă o economie mare de energie electrică prin aplicarea acestei optimizări, şi nu la reţelele de înaltă şi foarte înaltă tensiune.

ANEXA 1

Sistemul de ecuaţii (4) din text este de forma :

$$\begin{aligned} &f_1(U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0 \\ &f_2(U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &f_n(U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Pentru rezolvarea lui se consideră $U_i = U_i(\tau)$ şi ecuaţiile din sistemul (1) se pot pune sub forma :

$$f_i(U_1, U_2, \ldots, U_i, \ldots, U_n) = f_{i0}(U_{10}, U_{20}, \ldots, U_{i0}, \ldots, U_{n0})(1-\tau) \tag{2}$$

Se vede că pentru $\tau = 1$ se ajunge la sistemul (1), condiţionat ca valorile variabilelor $U_1, U_2, \ldots, U_n$ să ajungă la valorile rădăcinilor acestui sistem. Pentru a se realiza acest lucru, se derivă funcţiile (2) în raport cu τ şi se trece la diferenţe finite :

$$\begin{aligned} &\frac{\partial f_1}{\partial U_1}\frac{\Delta U_1}{\Delta \tau} + \frac{\partial f_1}{\partial U_2}\frac{\Delta U_2}{\Delta \tau} + \ldots + \frac{\partial f_1}{\partial U_n}\frac{\Delta U_n}{\Delta \tau} = -f_{10} \\ &\frac{\partial f_2}{\partial U_1}\frac{\Delta U_1}{\Delta \tau} + \frac{\partial f_2}{\partial U_2}\frac{\Delta U_1}{\Delta \tau} + \ldots + \frac{\partial f_2}{\partial U_n}\frac{\Delta U_n}{\Delta \tau} = -f_{20} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\frac{\partial f_n}{\partial U_1}\frac{\Delta U_1}{\Delta \tau} + \frac{\Delta f_n}{\Delta U_2}\frac{\Delta U_2}{\Delta \tau} + \ldots + \frac{\Delta f_n}{\Delta U_n}\frac{\Delta U_n}{\Delta \tau} = -f_{n0} \end{aligned} \tag{3}$$

Dacă se consideră valorile derivatelor în raport cu valorile anterioare ale variabilelor, sistemul (3) este un sisten

de ecuații liniar de variabile $\Delta U_1, \Delta U_2, \ldots, \Delta U_n$. Prin rezolvarea lui se găsesc valorile acestor variabile noi și se adaugă la valorile anterioare ale variabilelor $U_1, U_2, \ldots, U_n$, trecîndu-se la alt pas de iterație pentru un nou interval $\Delta\tau$.

Metoda se poate simplifica mult dacă se ține seama de particularitățile funcțiilor $f_i(U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0$ din cazul unei rețele a sistemului electroenergetic sau al sistemului însuși.

Particularitatea cea mai importantă a acestor funcții este aceea că $f_i((U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0$ conține necunoscuta U_i la puterea a doua în toate monoamele de același semn ale ei, iar fiecare din celelalte necunoscute se găsește numai în două monoame, care au semne contrare și care, la atingerea valorilor rădăcinilor sistemului (1), se anulează reciproc; pentru alte valori ale rădăcinilor, ele sînt apropiate ca valoare.

Pe baza acestei particularități se presupune că în fiecare ecuație $f_i(U_1, U_2, \ldots, U_n) = 0$ există singura variabilă $U_i = U_i(\tau)$, celelalte fiind considerate constante și egale cu valorile din pasul anterior de iterație.

Sistemul (3), în acest caz, devine:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial f_1}{\partial U_1}\frac{\Delta U_1}{\Delta\tau} = -f_{10}\\
&\frac{\partial f_2}{\partial U_2}\frac{\Delta U_n}{\Delta\tau} = -f_{20}\\
&\cdot\\
&\cdot\\
&\cdot\\
&\frac{\partial f_n}{\Delta U_n}\frac{\Delta U_n}{\Delta\tau} = -f_{n0}.
\end{aligned} \qquad (3')$$

care conduce la formula de recurență (10) din text.

ANEXA 2

Sistemul de ecuații aferent rețelei de 400 kV prin rezolvarea căruia se obțin valorile optime ale tensiunilor din noduri

$$f_1 = U_1^2(3{,}62\ U_2 + 3{,}6\ U_3 + 6{,}9\ U_5) - \left(\frac{67865}{U_2} + \frac{7500}{U_3} + \frac{504000}{U_5}\right)10^6$$

$$f_2 = U_2^2\,3{,}62\ U_1 - \frac{67865}{U_1}\,10^6$$

$$f_3 = U_3^2(3{,}6\ U_1 + 3{,}62\ U_4 + 6{,}7\ U_7 + 13{,}2\ U_9) - \left(\frac{7500}{U_1} + \frac{127642}{U_4} + \frac{178200}{U_7} + \frac{1347500}{U_9}\right)10^6$$

$$f_4 = U_4^2\,3{,}62\ U_3 - \frac{127642}{U_3}\,10^6$$

$$f_5 = U_5^2(6{,}9\ U_1 + 3{,}62\ U_6 + 7{,}6\ U_9 + 7{,}6\ U_{13}) - \left(\frac{504000}{U_1} + \frac{34625}{U_6} + \frac{197640}{U_9} + \frac{322690}{U_{13}}\right)10^6$$

$$f_6 = U_6^2\,3{,}62\ U_5 - \left(\frac{34625}{U_5}\right)10^6$$

$$f_7 = U_7^2(6{,}7\ U_3 + 1{,}81\ U_8) - \left(\frac{178200}{U_3} + \frac{35899}{U_8}\right)10^6$$

$$f_8 = U_8^2\,1{,}81\ U_7 - \frac{35899}{U_7}\,10^6$$

$$f_9 = U_9^2(13{,}2\ U_3 + 7{,}6\ U_5 + 3{,}62\ U_{10} + 5{,}5\ U_{11}) - \left(\frac{1347500}{U_3} + \frac{197640}{U_5} + \frac{5540}{U_{10}} + \frac{24500}{U_{11}}\right)10^6$$

$$f_{10} = U_{10}^2\,3{,}62\ U_9 - \frac{5540}{U_9}\,10^6$$

$$f_{11} = U_{11}^2(5{,}5\ U_9 + 3{,}62\ U_{12}) - \left(\frac{24500}{U_9} + \frac{2715}{U_{12}}\right)10^6$$

$$f_{12} = U_{12}^2\,3{,}62\ U_{11} - \frac{2715}{U_{11}}\,10^6$$

$$f_{13} = U_{13}^2(7{,}6\ U_5 + 3{,}62\ U_{14} + 3{,}5\ U_{15} + 5{,}4\ U_{18}) - \left(\frac{322690}{U_5} + \frac{7978}{U_{14}} + \frac{116000}{U_{15}} + \frac{101250}{U_{18}}\right)10^6$$

$$f_{14} = U_{14}^2\,3{,}62\ U_{13} - \frac{7978}{U_{13}}\,10^6$$

$$f_{15} = U_{15}^2(3{,}5\ U_{13} + 1{,}81\ U_{16} + 7{,}6\ U_{17}) - \left(\frac{116000}{U_{13}} + \frac{15955}{U_{16}} + \frac{40320}{U_{17}}\right)10^6$$

$$f_{16} = U_{16}^2\,1{,}81\ U_{15} - \frac{15955}{U_{15}}\,10^6$$

$$f_{17} = U_{17}^2\,7{,}6\ U_{15} - \frac{40320}{U_{15}}\,10^6$$

$$f_{18} = U_{18}^2(5{,}4\ U_{13} + 1{,}81\ U_{19} + 5{,}3\ U_{20}) - \left(\frac{102250}{U_{13}} + \frac{3989}{U_{19}} + \frac{35640}{U_{20}}\right)10^6$$

$$f_{19} = U_{19}^2\,1{,}81\ U_{18} - \frac{3989}{U_{19}}\,10^6$$

$$f_{20} = U_{20}^2(5{,}3\ U_{18} + 1{,}81\ U_{21}) - \left(\frac{35640}{U_{18}} + \frac{8978}{U_{21}}\right)10^6$$

$$f_{21} = U_{21}^2\,1{,}81\ U_{20} - \frac{8978}{U_{20}}\,10^6$$

Conductanțele sînt cele aferente timpului senin.

Bibliografie

[1] Penescu, C. ș.a. *Programarea matematică cu aplicații în energetică*. Editura tehnică, București, 1967.

[2] Salvadori, M. ș.a. *Metode numerice în tehnică*. Editura tehnică, București, 1972.

[3] Boțan, N. V. ș.a. *Rețele electrice, calculul electric*. Editura tehnică, București, 1961.

[4] Cladé, J. ș.a. *Résultats des études sur l'effet de couronne menées à la station expérimentale de Renardières*. CIGRE, 1970.

(Articol intrat în redacție la 13 februarie 1978)

Consideraţii privind implicaţiile utilizării liniilor electrice aeriene multiplu circuit

Dr. ing. **Anca Popescu**,
Dr. ing. **Andrei Cristovici**,
Dr. ing. **Dan S. Necşulescu**
Ing. **Fănică Vatră***)

Perspectiva utilizării liniilor electrice aeriene multiplu circuit de 110—400 kV impune cunoaşterea implicaţiilor utilizării acestor tipuri de linii.

Existenţa pe acelaşi stîlp a mai multor circuite de aceeaşi tensiune sau de tensiuni diferite ridică probleme din punctul de verdere al:

— solicitărilor electrice ale echipamentului din staţiile de capăt la supratensiuni care apar la căderea conductorului unui circuit peste conductorul altui circuit;

— tensiunilor în conductoarele circuitelor deconectate induse din celelalte circuite în funcţiune ale liniei;

— intensităţii cîmpului electric la suprafaţa conductorului şi a pierderilor corona;

— intensităţii cîmpului electric la sol;

— influenţei asupra liniilor de telecomunicaţii;

— numărului specific de declanşări ale liniilor electrice datorită loviturilor de trăsnet.

În scopul stabilirii condiţiilor necesare pentru proiectarea, montajul, exploatarea şi întreţinerea acestor linii multiplu circuit, apare necesară cunoaşterea tuturor acestor probleme. În cele ce urmează se prezintă, pe baza programelor de calcul şi metodologiilor întocmite la ISPE, rezultatele obţinute pentru liniile electrice aeriene multiplu circuit de 110—400 kV, rezultate care permit să se stabilească indicatorii de siguranţă şi restricţiile ce apar la utilizarea acestor tipuri de linii.

1. Parametrii electrici ai liniilor electrice aeriene multiplu circuit

Pentru determinarea parametrilor electrici ai liniilor electrice aeriene cu mai multe circuite se utilizează programul de calcul „PARALEM" pentru calculatorul IRIS-50, care permite stabilirea matricelor pătrate $[m \times m]$ ale rezistenţelor $[R]$, reactanţelor $[X_L]$, coeficienţilor de potenţial $[\lambda]$ şi capacităţilor $[C]$, în coordonate de fază, pentru cazul în care linia este prevăzută cu 1, 2, 3, 4 circuite, cu considerarea prezenţei conductoarelor de protecţie. Dimensiunea maximă a matricei este $[14 \times 14]$ în cazul liniei cu 4 circuite ($n = 12$ conductoare active şi $r = 2$ conductoare de protecţie).

În cazul în care se doreşte înlocuirea celor n circuite interdependente în n circuite independente, aplicarea matricelor de transformare se face considerîndu-se matricele reduse $[n \times n]$ obţinute prin eliminarea conductoarelor de protecţie. Pentru diagonalizarea matricelor $[R]$, $[X_L]$, $[C]$ se utilizează matricele de transformare corespunzătoare sistemului de componente α, β, 0, deoarece acest sistem de coordonate permite realizarea unor circuite echivalente mai simple, datorită faptului că impedanţele mutuale din circuitele componentelor, chiar dacă nu sînt zero, sînt reciproce.

În tabelul 1 se prezintă reactanţele şi capacităţile în componentele α, β, 0 pe circuit la liniile cu 4 circuite, 2 circuite şi 1 circuit. Se constată că la liniile cu 4 circuite reactanţele de secvenţă α, β ale circuitelor inferioare sînt mai mici (1—3%) decît cele ale circuitelor superioare, iar capacităţile de secvenţă α, β ale circuitelor superioare sînt mai mari (1—3%) decît ale circuitelor inferioare. Se apreciază că această variaţie neînsemnată a reactanţelor nu determină o încărcare pronunţat neuniformă a circuitelor.

Compararea componentelor α şi β ale reactanţelor şi capacităţilor circuitelor, în cazul liniilor de 400 kV şi 220 kV cu 4, 2 şi 1 circuit, demonstrează creşterea reactanţelor cu 1% şi, respectiv, 4% şi scăderea capacităţilor cu 2% şi, respectiv, 4% la liniile cu 2 circuite şi 1 circuit, faţă de valorile corespunzătoare la liniile cu 4 circuite.

Avînd în vedere că în cazul liniilor cu patru circuite paralele pentru secvenţa 0 se obţin 4 circuite avînd impedanţele proprii Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc}, Z_{dd} ($Z_{aa} = Z_{bb}$; $Z_{cc} = Z_{dd}$) şi impedanţele mutuale Z_{ab}, Z_{ac}, Z_{bc}, Z_{bd}, Z_{cd}, Z_{ad} ($Z_{ac} = Z_{bd}$, $Z_{ad} = Z_{bc}$) între circuite, se impune stabilirea circuitelor echivalente de secvenţă 0 în cazul în care:

— cele 4 circuite au bare comune la punctul de alimentare şi receptor;

— cele 4 circuite au bară comună la punctul de alimentare şi două cîte două bare comune la capătul receptor;

— cele 4 circuite au două cîte două bare comune la capătul de alimentare şi capătul receptor.

2. Solicitările electrice ale echipamentului din staţiile de capăt la supratensiuni care apar la căderea conductorului unui circuit peste conductorul altui circuit

La proiectarea liniilor cu circuite multiple de tensiuni diferite (de exemplu $2 \times 400 + 2 \times 220$ kV; $2 \times 400 + 2 \times 110$ kV, $2 \times 220 + 2 \times 110$ kV) trebuie să se ţină seama de solicitările care apar în cazul atingerii între conductoare aparţinînd circuitelor de tensiuni diferite.

*) Autorii lucrează la Institutul de studii şi proiectări energetice (ISPE).

Tabelul 1

Tipul liniei		Reactanțele în Ω/km pe secvențe			Capacitățile în nF/km pe secvențe		
		α	β	0	α	β	0
LEA 4 × 400 kV	circ. sup.	0,32	0,292	0,913	11,16	12,1	6,78
	circ. inf.	0,321	0,292	1,014	11,31	12,25	8,09
LEA 2 × 400 kV		0,329	0,305	1,072	10,94	11,73	7,14
LEA 1 × 400 kV		0,34	0,313	0,743	10,78	11,46	8,42
LEA 2 × 400 kV și 2 × 220 kV	circ. 400 kV	0,32	0,292	0,908	11,19	12,13	7,05
	circ. 220 kV	0,417	0,388	1,122	8,65	9,18	6,71
LEA 4 × 220 kV	circ. sup.	0,402	0,378	1,013	8,81	9,32	5,65
	circ. inf.	0,407	0,378	1,013	8,81	9,4	6,48
LEA 2 × 220 kV		0,413	0,389	1,198	8,63	9,18	5,9
LEA 1 × 220 kV		0,418	0,391	0,827	8,59	9,08	6,7
LEA 2 × 220 kV și 2 × 110 kV	circ. 220 kV	0,394	0,373	0,963	9,07	9,54	6,4
	circ. 110 kV	0,4	0,371	1,111	8,92	9,57	6,26
LEA 4 × 110 kV	circ. sup.	0,388	0,384	0,979	9,16	9,22	6,01
	circ. inf.	0,4	0,371	1,092	8,91	9,57	6,15
LEA 2 × 110 kV		0,39	0,362	1,212	9,25	9,99	6,62
LEA 1 × 110 kV		0,411	0,362	1,16	8,97	9,84	7,13

Pentru calculul acestor solicitări electrice se utilizează schema din figura 1 și următoarele ipoteze simplificatoare :

— se neglijează reactanțele transversale și rezistențele liniei ;

— nu se ține seama de consumul pe bare ;

— se consideră rezistența de defect zero.

Nu se efectuează calcule pentru defecte între circuite de aceeași tensiune, considerîndu-se că acestea sînt simple scurtcircuite, cu consecințe cunoscute.

În tabelul 2 sînt prezentate rezultatele de calcul pentru diferite variante studiate. Din analiza rezultatelor se constată că solicitarea

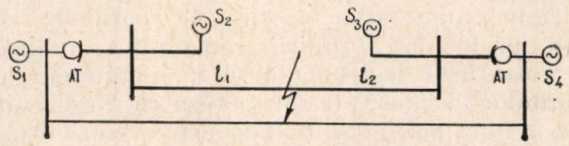


Fig. 1. Schemă de calcul.

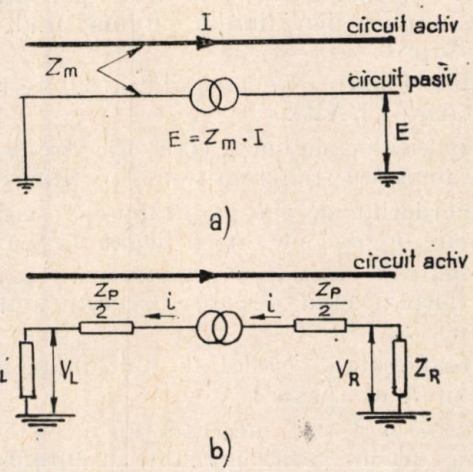


Fig. 2. Inducția magnetică între linii.

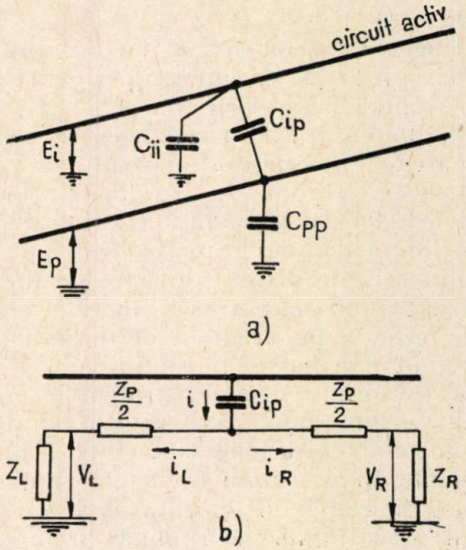


Fig. 3. Inducția electrostatică între linii.

Tabelul 2

Tipul liniei	Puterea de scurtcircuit a sistemelor MVA	Distanța pînă la defect, în km, conform figurii 1	Raportul între tensiunea maximă pe faza cu defect a liniei de tensiune mai mică și tensiunea pe fază	
			la locul de defect	în stație
2 × 400 kV + 2 × 220 kV	$S_{SC400} = 20\,000$	$l_1 = l_2 = 100$ km	1,35	0,94
	$S_{SC220} = 12\,000$	$l_1 = 0$ km, $l_2 = 200$ km	1,13	1,13
	$S_{SC400} = 4\,000$	$l_1 = l_2 = 100$ km	1,243	0,898
	$S_{SC220} = 8\,000$	$l_1 = 0$ km, $l_2 = 200$ km	0,889	0,889
	$S_{SC400} = 20\,000$	$l_1 = l_2 = 100$ km	1,339	0,929
	$S_{SC220} = 8\,000$	$l_1 = 0$ km, $l_2 = 200$ km	1,135	1,135
2 × 400 kV + 2 × 110 kV	$S_{SC400} = 20\,000$	$l_1 = l_2 = 100$ km	2,063	0,837
	$S_{SC110} = 6\,000$	$l_1 = 0$ km ; $l_2 = 200$ km	1,074	1,074
2 × 220 kV + 2 × 110 kV	$S_{SC220} = 12\,000$	$l_1 = l_2 = 100$ km	1,39	0,904
	$S_{SC110} = 6\,000$	$l_1 = 0$ km, $l_2 = 220$ km	0,826	0,859

maximă apare la locul de defect în cazul căderii fazei R peste faza R, defectul producîndu-se la mijlocul liniei.

În cazul defectelor implicînd faza R a circuitului cu tensiune superioară cu faza S a circuitului cu tensiune inferioară, nu se depășește valoarea tensiunii pe fază (U_f).

Avînd în vedere că tensiunea de stingere a descărcătoarelor utilizate este 1,4 U_f, rezultă că nu este de dorit ca creșterea de tensiune pe circuitul de tensiune inferioară să depășească această valoare, deoarece la valori mai mari ale tensiunii este posibilă explozia descărcătoarelor. Din această cauză nu se recomandă proiectarea liniilor 2 × 400 + 2 × 110 kV, întrucît la căderea unui circuit de 400 kV peste un circuit de 110 kV apar creșteri de tensiune care conduc la imposibilitatea ca descărcătoarele să asigure protecția necesară.

La atingerea fazelor $R-R$ de tensiuni diferite, la circuitele de tensiune superioară se observă o scădere a valorii tensiunii la circa 50—70% din tensiunea inițială, ceea ce permite funcționarea protecției de distanță în cazul defectelor din apropierea barelor stației. În cazul defectelor la 100 km de barele stației, datorită limitărilor determinate de reactanțele liniei, protecția de distanță nu are condiții de funcționare, fiind necesar să funcționeze protecția de rezervă. Pe circuitele de tensiune inferioară, avînd în vedere că tensiunea crește peste valoarea tensiunii normale, protecția de distanță nu va funcționa, ceea ce este avantajos. Dacă s-ar produce deconectarea circuitului de tensiune inferioară, între bornele întreruptorului ar apărea diferențe de tensiuni egale cu diferența între tensiunile celor două circuite, întreruptorul fiind în consecință suprasolicitat.

La atingerea fazelor $R-S$, sau pentru orice alte combinații de faze, apar curenți de scurtcircuit mari pe ambele tensiuni și deci protecțiile de distanță au condiții de funcționare. Apare necesar să se organizeze protecția astfel încît să declanșeze întîi circuitele de tensiuni superioare, evitîndu-se suprasolicitările întreruptoarelor de tensiuni inferioare.

3. Tensiuni induse în conductoarele circuitelor deconectate în cazul liniilor electrice aeriene multiplu circuit

Avînd în vedere existența în cazul liniilor multiplu circuit a 2—4 circuite paralele, se pune problema stabilirii tensiunilor induse electrostatic și electromagnetic în conductoarele circuitelor deconectate, în ipoteza că un circuit nu este în funcțiune sau o fază este deconectată. Cunoașterea valorilor acestor tensiuni este deosebit de importantă, deoarece permite stabilirea implicațiilor liniilor cu mai multe circuite asupra :

— funcționării reanclanșării automate rapide monofazate (RARM) ;

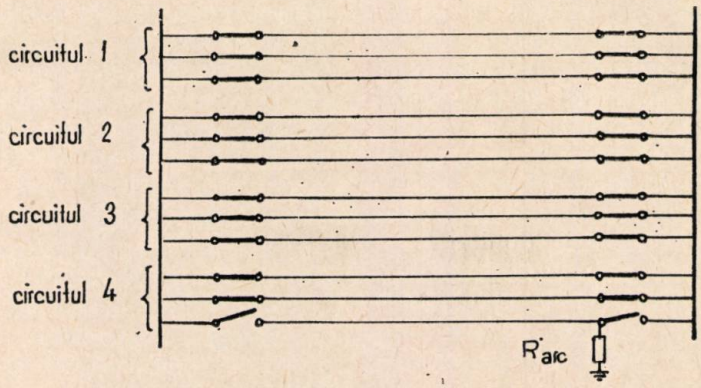
— condițiilor de montaj la un circuit cînd există două sau trei circuite în funcțiune ;

— pierderilor de energie în ipoteza existenței unui circuit deconectat și legat la pămînt ;

— condițiilor în care se efectuează reparațiile la un circuit cînd celelalte circuite sînt sub tensiune.

Metodologiile de calcul ale tensiunilor induse se prezintă în anexa 1.

În tabelul 3 sînt indicate tensiunile induse în faza deconectată, precum și curentul de supraalimentare a arcului în cazul RARM la



Tabelul 3

Tipul liniei	Faza deconectată	Lungimea liniei, km	Tensiunea indusă în faza deconectată, kV			Curentul secundar (componenta capacitivă), kA
			capacitiv	inductiv	totală	
LEA 4 × 400 kV	R (circ. 1)	100	31,67	15,8	34,25	9,51
	S (circ. 1)		38,4	15,4	32,66	12,18
	T (circ. 1)		24,38	13	28,911	7,81
	R (circ. 3)		47,61	23,51	64,71	15,44
	S (circ. 3)		33,6	17,6	38,48	11,30
	T (circ. 3)		29,5	12,7	17,014	9,73
	R (circ. 3)	200	47,61	47,02	84,932	30,88
	R (circ. 3)	300	47,61	70,53	106,52	46,32
LEA 1 × 400 kV	R (circ. 1)	100	24,33	10,31	16,525	7,70
	S (circ. 1)		26,36	11,26	28,625	8,55
LEA 2 × 400 kV	R (circ. 1)	100	33,02	17,48	49,388	9,97
	S (circ. 1)		44,0	20,2	42,091	13,68
	T (circ 1)		25,64	16,38	20,745	8,27
LEA 2 × 400 kV şi 2 × 220 kV	R (circ. 1—400 kV)	100	29,5	15,08	31,965	8,79
	S (circ. 1—400 kV)		37,14	15,2	36,426	11,94
	T (circ. 1—400 kV)		22,63	13,0	25,259	7,37
	R (circ. 3—220 kV)		24,91	13,56	37,337	6,29
	S (circ. 3—220 kV)		18,46	8,27	22,018	4,77
	T (circ. 3—220 kV)		25,38	5,92	20.156	6,47
LEA 4 × 220 kV	R (circ. 1)	100	16,5	6,81	18,155	3,96
	S (circ. 1)		18,96	6,65	18,366	4,73
	T (circ. 1)		11,91	5,55	12,678	3,59
	R (circ. 3)		21,93	9,88	28,378	5,54
	S (circ. 3)		16,7	7,6	19,037	5,62
	T (circ. 3)		13,47	5,44	8,554	3,46

liniile 4×400 kV, 2×400 kV, 1×400 kV, stabilite conform metodologiei prezentate în anexa 1. Calculele s-au efectuat în ipoteza transportului pe linie a puterii naturale. Se constată că la liniile de 4×400 kV de lungimi mai mari de 150—200 km, curentul de supraalimentare a arcului depășește 20—30 A. În acest caz, conform datelor din literatură [1], stingerea arcului în pauzele de RARM uzuale devine nesigură. Rezultă că nu mai este posibilă utilizarea RARM pe aceste linii. În cazul liniilor 4 × 220 kV și 2×400+2×220 kV, RARM se poate utiliza fără să apară probleme în ceea ce privește eficacitatea sa.

Pentru stabilirea condițiilor de montaj se impune ca, pentru o deschidere pusă la pămînt prin scurtcircuitoare, să se calculeze curentul care se închide în bucla formată în deschidere (I), tensiunea indusă în deschidere (U_{ind}) și tensiunea pe scurtcircuitoarele de capăt $U_L = U_R$. În tabelul 4 sînt prezentate rezultatele

loarea tensiunii admisibile de 24 V, iar în regim de scurtcircuit se depășesc cu mult valorile admisibile de 400 V pentru lucrătorii echipați cu mijloace electroizolante de protecție. De aceea în cazul liniilor multiplu circuit se impune adoptarea unor tehnologii speciale de montare a conductoarelor.

În regim normal de funcționare, la deconectarea unei linii, aceasta se leagă la ambele capete la priza stației (de 0,5 Ω). În bucla astfel formată, datorită inducțiilor, va circula permanent un curent, ceea ce determină o pierdere suplimentară de energie. Valorile curenților permanenți ce se scurg la pămînt (de ordinul 200 A/kA la LEA 4 × 400 kV de 100 km cu 3 circuite în funcțiune) atrag atenția asupra necesității studierii dacă separatoarele actuale de legare la pămînt au capacitatea de a întrerupe acești curenți în condițiile în care linia s-ar pune sub tensiune. De asemenea, valorile curenților permanenți ce se scurg la pă-

Tabelul 4

LEA	Numărul de circuite înfuncțiune	Regimul normal de funcționare			Regim de scurtcircuit		
		I	U		I	U	
			U_{indus}	$U_L = U_R$		U_{indus}	$U_L = U_R$
		A/kA	V/kA		A/kA	V/kA	
4 × 400 kV	2	6,48	26	12,96	37,65	150,8	75,3
	3	11,11	44,5	22,22	58,41	234	116,8
4 × 220 kV	2	6,4	25,64	12,8	38,5	154	76,9
	3	10,4	41,69	20,8	59,29	237,6	118,5
4 × 110 kV	2	7,96	31,9	15,92	41,32	165,6	82,6
	3	12,7	50,71	25,35	62,9	252	125,8
2 × 220 kV și 2 × 110 kV	2	8,14	32,61	16,28	41,12	164,8	82,4
	3	14,44	57,86	28,88	64,27	257,6	128,5
2 × 400 kV	1	4,3	17,2	8,59	25,95	104	51,9

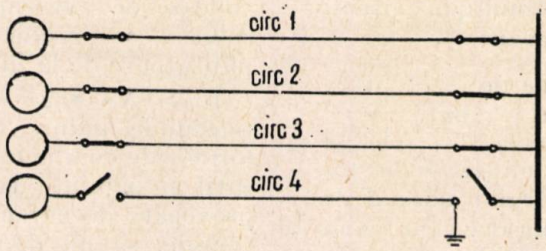
Valorile pentru U și I se dau raportate la un curent normal sau de scurtcircuit de 1 kA.

de calcul obținute atît în regim normal de funcționare cît și în regim de scurtcircuit, la o deschidere de 400 m pusă la pămînt prin scurtcircuitoare legate la o impedanță echivalentă de 2 Ω (impedanța echivalentă corespunde lanțului de cvadripoli format de conductoarele de protecție și prizele stîlpilor).

Se constată că în condițiile în care sînt în funcțiune numai două circuite, pe o singură parte a stîlpului, se reduce valoarea curentului din buclă cu 42% și tensiunea de pe scurtcircuitoare cu 40%, în comparație cu cazul în care sînt în funcțiune trei circuite pe stîlp. Rezultatele obținute arată că valorile induse în regim normal de funcționare depășesc va-

mînt atrag atenția asupra necesității verificării comportării prizelor la curenți de durată.

Ținînd seamă de posibilitatea ca circuitul deconectat să fie pus la un capăt la pămînt, iar la celălalt capăt să rămînă în gol, se impune determinarea tensiunii la capătul liniei în gol și curentului ce se scurge la pămînt la capătul liniei legate la pămînt. Rezultatele de calcul stabilite pe baza metodologiei prezentate în anexa 1 sînt redate în tabelul 5 și indică necesitatea unor restricții în ceea ce privește lucrările de întreținere la un circuit, în cazul în care se produc ruperi de conductoare pe linie, fără căderea acestor conductoare pe sol.



Tabelul 5

Tipul liniei	Circuitul deconectat	Lungimea liniei, km	Tensiunea, în kV, la capătul liniei deconectate, pe fazele			Curentul, în A, ce se scurge la pămînt la capătul liniei legate la pămînt prin fazele		
			R	S	T	R	S	T
LEA 4 × 400 kV	circ. 2 (superior)	100	1,5	1,2	4,2	2,2	3,1	6,4
	circ. 4 (inferior)	100	6,5	7,2	7,6	4,4	5,8	11,6
		200	13,0	14,5	16,0	8,0	14,0	26,0
		300	19,8	23,4	26,9	13,9	25,2	46,3
LEA 2 × 400 kV și 2 × 220 kV	circ. 4 (de 220 kV)	100	6,1	7,0	7,9	3,6	4,4	8,9
LEA 2 × 220 kV și 2 × 110 kV	circ. 4 (de 110 kV)	100	6,8	7,6	8,6	5,6	5,3	10,2
LEA 4 × 220 kV	circ. 4 (inferior)	100	2,429	3,302	3,410	1,41	2,236	4,472
LEA 2 × 220 kV și 2 × 110 kV	circ. 4 (de 110 kV)	100	3,071	3,53	4,198	2,82	3,16	5,83
LEA 4 × 110 kV	circ. 4 (inferior)	100	1,747	2 ,073	2,637	1,41	1,41	3,6
LEA 2 × 400 kV	circ. 2	100	0,718	1,381	3,307	6,3	1,0	3,6

Dacă un om vine în contact cu un conductor al unui circuit presupus deconectat, care este legat la pămînt la un singur capăt, distanța între om și locul de legare la pămînt necesară pentru evitarea apariției unui șoc periculos (de exemplu 5 mA) se stabilește cu relația [2], [7]:

$$D = \frac{R_0 \times I_{ad}}{I_s \times U_{ind}} \text{ [m]},$$

unde

R_0 este rezistența corpului și de contact a omului [Ω];

I_{ad} — curentul admisibil prin om [A];

I_s — curentul de sarcină în circuitul paralel în funcțiune [A];

U_{ind} — tensiunea indusă [V/m.A].

Din această relație se observă că în cazul apariției unui scurtcircuit la circuitul paralel cu circuitul scos de sub tensiune, distanța între om și locul de legare la pămînt se reduce substanțial. Atunci cînd se desface o legătură la pămînt, prin aceasta circulînd curenți induși electromagnetic ce se închid prin pămînt, se dezvoltă un arc de-a lungul întreruperii, între conductorul liniei și conductorul de legare la pămînt. Lungimea arcului depinde de amplitudinea curentului întrerupt și de tensiunea care apare de-a lungul întreruperii deschise cînd arcul este stins. În cazul curenților mai mici de 100 A, această lungime a arcului se poate calcula cu relația empirică [7]:

$$L = 0{,}00503\ V.I \text{ [m]},$$

unde

V este tensiunea de-a lungul întreruperii [kV];

I — curentul întrerupt [A].

Din rezultatele obținute pentru o linie 4 × × 400 kV se constată apariția unor lungimi de arc de (1—4) m. În aceste condiții se impun, pentru personal, limite stricte de apropiere cînd fixează sau îndepărtează legăturile de legare la pămînt, pentru a nu veni în contact cu arcul electric care se formează.

4. Influența liniilor electrice multiplu circuit asupra liniilor de telecomunicații

Avînd în vedere posibilitățile de existență a liniilor de telecomunicații aeriene paralele cu liniile electrice aeriene cu circuite multiple, se impune calcularea tensiunii induse în instalațiile de telecomunicații în regim normal de funcționare a liniilor electrice aeriene și în regim de defect pe linie, în scopul stabilirii dacă se respectă condițiile impuse de STAS 832—68.

În tabelul 6 se prezintă valorile tensiunilor capacitive induse de liniile cu circuite multiple în conductoarele liniei de telecomunicații situate la diferite distanțe de axul liniilor de 4 × 400 kV, 2×400 kV și 1 × 400 kV. Din examinarea valorilor se constată că tensiunea indusă capacitiv scade rapid cu creșterea distanței dintre linii. Se observă că tensiunea indusă capacitiv de o linie de 4×400 kV este de 2,8 ori și, respectiv, de 8,3 ori mai mare decît tensiunea indusă de o linie 1 × 400 kV. În general, valorile obținute în cazul liniilor de 4 × 400 kV, și, respectiv, 2 × 400 kV la distanțe de ordinul 150—200 m de axul liniei sînt apropiate. În aceste condiții problemele ridicate de influența liniilor de 4×400 kV se soluționează asemănător cu problemele corespunzătoare de la liniile de 2 × 400 kV.

În STAS 832—68 se indică necesitatea ca tensiunile induse longitudinal într-un circuit format de conductorul unei linii de telecomunicații și pămînt, datorită influenței magnetice provocate de curentul care trece prin linia de energie, să nu depășească anumite valori, în funcție de categoria și de regimul de funcționare a liniei de energie, care influențează linia de telecomunicații respectivă.

Pe baza metodologiei prezentate în anexa 1 s-au făcut calcule pentru tensiunea indusă magnetic în linia de telecomunicație în cazul liniilor de 400 kV simplu circuit, dublu și patru circuite, atît în regim normal de funcționare, cît și în regim de scurtcircuit. În tabelul 7 se prezintă rezultatele obținute pentru paralelism de 1 km, linia de telecomunicație fiind la distanțe de 50, 100, 150, 200, 250, 300 m depărtare de faza laterală a liniei 1× 400 kV.

În tabelul 7 se indică și valorile curenților de scurtcircuit limită la linia de energie pentru a nu se depăși tensiunea de 650 V indusă în liniile

Tabelul 6

Distanța de la axul liniei de energie la linia de telecomunicație, m		61,3	111,3	161,3	211,3	261,3	311,3
Tensiunea indusă capacitiv, în kV, de liniile electrice de :	4 × 400 kV	3,17	0,825	0,38	0,22	0,14	0,1
	2 × 400 kV	1,63	0,662	0,337	0,201	0,13	0,094
	1 × 400 kV	1,132	0,199	0,069	0,033	0,019	0,012

Tabelul 7

Distanța de la axul liniei de energie la linia de telecomunicație, m			61,3	111,3	161,3	211,3	261,3	311,3
1 × 400 kV	Tensiunea indusă în regim normal de funcționare, kV/kA.km		0,0205	0,011	0,0088	0,008	0,0063	0,0061
	Regim de scurtcircuit	Tensiunea indusă, kV/kA. km	0,125	0,105	0,095	0,0088	0,082	0,078
		Curentul limită pentru tensiunea admisibilă indusă de 650 V, kA	5,2	6,19	6,842	7,386	7,92	8,33
2 × 400 kV	Tensiunea indusă în regim normal de funcționare, kV/kA.km		0,0373	0,0282	0,0255	0,0248	0,0212	0,0212
	Regim de scurtcircuit	Tensiunea indusă, kV/kA. km	0,376	0,326	0,298	0,278	0,261	0,248
		Curentul limită pentru tensiunea admisibilă indusă de 650 V, kA	1,73	2	2,18	2,34	2,49	2,61
4 × 400 kV	Tensiunea indusă în regim normal de funcționare, kV/kA.km		0,0236	0,0182	0,0156	0,015	0,0148	0,0138
	Regim de scurtcircuit	Tensiunea indusă, kV/kA.km	0,567	0,484	0,439	0,41	0,385	0,365
		Curentul limită pentru tensiunea admisibilă indusă de 650 V, kA	1,146	1,343	1,481	1,585	1,688	1,781

de telecomunicații. Se constată că, în cazul regimurilor de scurtcircuit, curentul limită de scurtcircuit, pentru a se realiza condiția de 650 V, variază, fiind de 3 ori și, respectiv, de 4,5 ori mai mic, în cazul liniilor 2 × 400 kV și 4 × 400 kV, față de curentul corespunzător unei linii 1 × 400 kV.

5. Pierderi corona și intensitatea cîmpului electric la suprafața solului

Intensitatea maximă a cîmpului electric la suprafața conductorului se calculează cu ajutorul programului CIMP, prezentat în anexa 2, întocmit pentru calculatorul IRIS-50.

Valorile intensității maxime a cîmpului electric prezentate în tabelul 8 indică faptul că în cazul liniilor electrice cu circuite multiple influențează succesiunea fazelor asupra acestor valori. În cazul liniei 4 × 400 kV, valoarea maximă a intensității cîmpului se obține pe conductoarele circuitelor inferioare (cu 3% mai mult decît pe conductoarele circuitelor superioare). Valoarea maximă a intensității cîmpului este cu 5% mai mare decît cea obținută în cazul liniei cu un singur circuit și cu 3% mai mare decît cea obținută în cazul liniilor dublu circuit.

În literatura de specialitate [3] se precizează că nivelele perturbatoare admisibile în cazul perturbațiilor radio și TV se respectă dacă intensitatea cîmpului la suprafața conductorului este mai mică decît 0,9 E_0 (E_0 fiind intensitatea critică de apariție a fenomenului corona).

Avînd în vedere că în cazul unei linii de 400 kV se impune ca intensitatea cîmpului la suprafața conductorului să nu depășească valoarea de 0,9 E_0 = 27,2 kV vîrf/cm, rezultă că în cazul liniilor multiplu circuit nu se impun condiții speciale pentru evitarea perturbațiilor radio și TV.

Creșterea cîmpului la suprafața conductoarelor ca urmare a influențelor dintre circuite determină creșterea pierderilor corona totale la liniile cu patru circuite în comparație cu pierderile corona totale la patru circuite independente. Astfel se observă că pierderile corona medii pe circuit calculate cu ajutorul unui program de calcul pe calculator IRIS-50 [4], în cazul unei linii multiplu circuit de 400 kV, sînt cu 18% și, respectiv, 40% mai mari față de valorile pierderilor corona pe o linie simplu circuit de 400 kV, depinzînd de succesiunea fazelor pe stîlp. Pentru a reduce pierderile corona la aceste linii se impune folosirea unei anumite succesiuni a fazelor. Această restricție conduce la necesitatea evitării unor transpuneri în cazul acestor linii.

Tabelul 8

Tipul liniei	Succesiunea fazelor	Intensitatea maximă a cîmpului electric, kV/cm, la suprafața conductoarelor											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LEA 4 × 400 kV	RST, RST RST, RST	23,55	25,49	23,99	23,55	25,49	23,99	25,81	26,24	21,6	25,81	25,24	21,6
LEA 4 × 400 kV	TSR, TSR RST, RST	23,46	25,54	26,64	23,46	25,54	26,64	25,4	26,21	24,74	25,4	26,21	24,74
LEA 4 × 220 kV	RST, RST RST, RST	19,19	20,25	19,22	19,19	20,25	19,22	20,39	20,64	17,7	20,39	20,64	17,7
LEA 4 × 110 kV	RST, RST RST, RST	13,37	13,63	12,61	13,37	13,63	12,61	14,09	14,1	11,56	14,09	14,1	11,56
LEA 2 × 400 kV și 2 × 220 kV	RST, RST RST, RST	23,44	23,92	23,87	23,44	23,92	23,87	20,32	19,96	16,71	20,32	19,96	16,71
LEA 2 × 400 kV și 2 × 110 kV	RST, RST RST, RST	23,14	25,92	24,09	23,14	25,92	24,09	14,36	13,29	10,03	14,36	13,29	10,03
LEA 2 × 220 kV 2 × 110 kV	RST, RST RST, RST	19,34	20,88	19,18	19,34	20,88	19,18	14,75	13,91	10,68	14,75	13,91	10,68
LEA 1 × 400 kV	RST	23,49	24,92	23,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LEA 2 × 400 kV	RST, RST	21,87	25,33	23,74	21,87	25,33	23,74	—	—	—	—	—	—
LEA 1 × 220 kV	RST	19,1	20,17	19,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LEA 2 × 220 kV	RST, RST	17,81	20,25	19,00	17,81	20,25	19,00	—	—	—	—	—	—
LEA 1 × 110 kV	RST	13,88	13,7	14,66	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LEA 2 × 110 kV	RST, RST	12,74	14,59	14,34	12,74	14,59	14,34	—	—	—	—	—	—

În tabelul 9 se prezintă comparativ pierderile de putere la artera de 400 kV formată din linii $4\times(1\times400$ kV), $2\times(2\times400$ kV) și 4×400 kV, constatîndu-se variația procentuală a pierderilor corona față de pierderile Joule în conductoarele active; de asemenea se prezintă o comparație similară pentru pierderile Joule ca urmare a circulației curentului indus electromagnetic prin conductoarele de protecție și pierderile Joule în conductoarele active. Rezultă că, din punctul de vedere al pierderilor de putere activă în conductoarele de protecție, este economic să se lege conductoarele de protecție pe stîlp.

Tabelul 9

Tipul arterei	Pierderi Joule în			Pierderi corona	
	conductoarele active	conductoarele de protecție			
	în kW/km. kA	în kW/km.kA	în % din pierderile Joule în conductoarele active	în kW/km	în % din pierderile Joule în conductoarele active
4×400 kV	396	0,33	0,083	37,68	9,5
$2\times(2\times400$ kV)	396	10,38	2,62	30,64	7,75
$4\times(1\times400$ kV)	396	8,68	2,2	32	8,1

Trebuie subliniat că, deși intensitatea maximă a cîmpului electric la sol (calculată cu ajutorul calculatorului IRIS-50 [5]) nu variază substanțial în cazul liniilor cu patru circuite față de linia simplu circuit (crește cu mai puțin de 2% la LEA 4×400 kV), distanța față de axul liniei la care valoarea intensității cîmpului electric este sub 5 kV/m crește de 2,5 ori în cazul liniei cu patru circuite față de linia simplu circuit.

În cazul liniilor de 400 kV cu patru circuite, prezența conductoarelor de protecție izolate poate determina, în funcție de succesiunea fazelor circuitelor pe stîlp, o scădere a intensității maxime a cîmpului electric la sol cu numai 2% în comparație cu valoarea obținută la linia cu conductoare de protecție legate la stîlp. Se constată astfel că datorită prezenței unui număr mare de conductoare, efectul de ecran prezentat de conductoarele de protecție legate la pămînt în cazul simplu circuit dispare.

Valoarea intensității cîmpului electric la suprafața solului depinde de succesiunea fazelor pe stîlp. La o linie de 400 kV dublu circuit se observă, spre exemplu, că la o anumită succesiune a fazelor rezultă o reducere substanțială ($>10\%$) a intensității maxime a cîmpului electric la sol.

Avînd în vedere rezultatele prezentate mai sus, rezultă că nu se impune la liniile multiplu circuit de 400 kV, din condiție de intensitate a cîmpului electric la sol, să se modifice distanța minimă admisă de la conductoarele liniei pînă la suprafața terenului (de 8 m).

6. Numărul specific de declanșări în cazul loviturilor de trăsnet în liniile cu circuite multiple

Experiența de exploatare a liniilor dublu circuit din diverse țări a indicat posibilitatea declanșării simultane la aceeași lovitură de trăsnet a ambelor circuite. Procentul de declanșări simultane la trăsnet a ambelor circuite, din numărul total de declanșări, este cuprins în domeniul 0—40% pentru linii de 220 kV [6]. Avînd în vedere posibilitatea declanșării simultane a ambelor circuite la linii dublu circuit, a rezultat necesar să se analizeze, în cazul liniilor multiplu circuit, posibilitatea declanșării simultane la lovitura de trăsnet a mai multor circuite, pentru a se putea trage concluzii privitoare la siguranța în funcționare a acestor linii și a se stabili criteriile de dimensionare a rețelei de transport în condițiile utilizării acestor linii.

Din calculele efectuate cu ajutorul calculatorului cifric [6] în cazul liniei 4×400 kV avînd 200 km și rezistența prizelor de legare la pămînt de 10—20 Ω, rezultă următoarele domenii de valori ale numărului specific de declanșări definitive pe 100 km și an :

— 0,8—2,1 declanșări definitive ale unui singur circuit;

— 0,11—1,05 declanșări definitive a două circuite simultan;

— 0,01—0,02 declanșări definitive a trei-patru circuite simultan.

Comparînd aceste valori cu cele corespunzătoare la liniile simplu și dublu circuit de 400 kV avînd aceeași capacitate de transport (4 linii $1\times$ 400 kV; 2 linii 2×400 kV), se constată că linia multiplu circuit prezintă un nivel de siguranță electrică mai scăzut decît liniile simplu și dublu circuit, datorită posibilităților de declanșare simultană a mai multor circuite.

Dacă se ține seama și de indicatorii de siguranță mecanică, rezultă că nivelul de siguranță al liniei 4×400 kV este substanțial mai scăzut decît în cazul liniilor $2\times$ ($2\times$ 400) kV și $4\times$ $\times(1\times400)$ kV.

Concluzii

În cadrul articolului s-a căutat să se evidențieze cîteva din problemele ridicate la fundamentarea soluțiilor cu circuite multiple, și anume :

1. Întrucît, în cazul utilizării liniilor cu circuite multiple de diferite tensiuni, apar probleme privind selectivitatea funcționării protecției de distanță, se impune organizarea protecțiilor pentru fiecare caz în parte, ținînd seama de încadrarea liniei în sistemul energetic.

2. Avînd în vedere valorile ridicate ale tensiunilor induse de liniile electrice aeriene cu patru circuite în liniile de telecomunicație,

apare necesară reactualizarea condițiilor impuse de STAS 832—68, prin introducerea unor condiții speciale pentru liniile multiplu circuit.

3. Ținînd seama de posibilitatea apariției arcurilor electrice de lungimi mari (1—4 m) la deschiderea separatoarelor de legare la pămînt, apare necesar să se echipeze linii cu separatoare de legare la pămînt capabile să stingă aceste arcuri.

4. La liniile multiplu circuit se impun tehnologii speciale de construcție, montaj, întreținere și exploatare, pentru a se evita accidentări de persoane datorită tensiunilor induse periculoase.

5. În cazul liniilor electrice 4×400 kV, din condiții de limitare a pierderilor corona și a intensității cîmpului la suprafața conductoarelor, se impune o anumită succesiune a fazelor pe stîlp. Aceasta determină imposibilitatea realizării transpunerilor pe astfel de linii, și, din acest motiv, rezultă limitarea folosirii acestor linii pentru transportul energiei la distanțe mai mici de 100 km. Succesiunea fazelor optimă în acest caz conduce, de asemenea, la dificultăți constructive la intrarea liniilor în stații.

La liniile multiplu circuit cu tensiuni mai mici de 400 kV, avînd în vedere că intensitatea cîmpului la suprafața conductorului este mult mai mică decît intensitatea critică de apariție a fenomenului corona, nu sînt necesare restricții din punctul de vedere al succesiunii fazelor.

6. Datorită curenților de supraalimentare în cazul liniilor 4×400 kV, eficacitatea RAR monofazat este puțin probabilă pentru lungimi de linii mai mari de 150 km.

7. Avînd în vedere restricțiile impuse datorită tensiunilor induse, intensității cîmpului la suprafața conductoarelor, precum și indicatorilor de siguranță electrici și mecanici, rezultă că nu este recomandabil să se utilizeze linii multiplu circuit de lungimi de peste 50—100 km la 400 kV.

8. Ținînd seama de solicitările electrice ale echipamentului din stațiile de capăt ca urmare a căderii conductorului unui circuit peste conductorul altui circuit, nu se recomandă proiectarea liniilor 2×400+2×110 kV.

ANEXA 1

Metodologii de calcul al tensiunilor induse în conductoarele circuitelor deconectate în cazul liniilor electrice aeriene multiplu circuit

1. *Tensiuni induse prin inducție magnetică*

Cîmpul magnetic creat de curenții din conductoarele liniilor electrice aeriene (circuite active) determină apariția unor tensiuni induse longitudinale pe conductoarele circuitelor învecinate (circuite pasive). Calculele se efectuează pe baza metodologiei indicate în [2], [7].

Dacă un capăt al circuitului pasiv, în care se induce tensiunea, este legat la pămînt, întreaga tensiune indusă E va apărea între capătul deschis al acestui circuit și pămînt (se neglijează capacitatea față de pămînt a acestui circuit) (fig. 2 *a*). Dacă și celălalt capăt se leagă la pămînt sau este atins accidental de un om legat galvanic cu pămîntul, în circuitul creat va apărea un curent electric (fig. 2 *b*). Un astfel de circuit poate fi analizat cu ajutorul unui circuit echivalent Thévenin.

Pentru circuitul din figura 2 *a*, tensiunea indusă E se determină cu relația

$$\mathring{E} = \mathring{Z}_m \cdot \mathring{I}, \tag{1.1}$$

unde

$\mathring{Z}_m$ este impedanța mutuală dintre conductoare pentru lungimea lor totală de paralelism;

$\mathring{I}$ — curentul din circuitul activ inductor.

Avînd în vedere că se studiază cazul liniilor electrice cu mai multe circuite, rezultă că relația (1.1) se poate scrie sub următoarea formă generală, și anume:

$$[\mathring{E}] = [\mathring{Z}_m] \cdot [\mathring{I}]. \tag{1.2}$$

unde

$[\mathring{E}]$ este matricea tensiunilor induse în diferite conductoare;

$[\mathring{Z}_m]$ — matricea impedanțelor mutuale dintre conductoare;

$[\mathring{I}]$ — matricea curenților din circuitele inductoare.

Pentru circuitul din figura 2 *b*, rezultă că impedanța de scurtcircuit (conform teoremei Thévenin) a conductorului pasiv este tocmai impedanța proprie a acestui conductor ($\mathring{Z}_p$), considerînd conductoarele inductoare ca surse de curent constant (neinfluențate de interacțiunea în conductorul pasiv). În cazul în care se consideră rezistențele de legare la pămînt ($\mathring{Z}_L$) și rezistențele de contact $\mathring{Z}_R$ la atingerea accidentală de către om, rezultă că impedanța Thévenin este de forma:

$$\mathring{Z}_{Th} = \mathring{Z}_p + \mathring{Z}_L + \mathring{Z}_R \tag{1.3}$$

În aceste condiții curentul din circuitul pasiv va fi:

$$i = \frac{\mathring{E}}{\mathring{Z}_p + \mathring{Z}_L + \mathring{Z}_R}, \tag{1.4}$$

iar căderile de tensiune pe cele două legături la pămînt:

$$\mathring{V}_L = \frac{\mathring{E} \cdot \mathring{Z}_L}{\mathring{Z}_p + \mathring{Z}_L + \mathring{Z}_R} \tag{1.5}$$

$$\mathring{V}_R = \frac{\mathring{E} \cdot \mathring{Z}_R}{\mathring{Z}_p + \mathring{Z}_L + \mathring{Z}_R} \tag{1.6}$$

2. *Tensiunea indusă prin inducție electrică*

Se consideră cazul unui singur conductor care creează un cîmp electric ce induce o tensiune electrostatică într-un conductor pasiv (fig. 3).

Ținînd seama de considerațiile de la inducția magnetică, rezultă că tensiunea indusă în conductorul pasiv $\mathring{E}_p$ de cîmpul electric creat de tensiunea $\mathring{E}_i$ de pe conductorul inductor va fi:

$$\mathring{E}_p = \frac{\mathring{E}_i \cdot C_{ip}}{C_{pp} + C_{ip}}, \tag{1.7.}$$

unde

C_{ip} este capacitatea dintre conductoare :

C_{pp} — capacitatea față de pămînt a conductorului pasiv p.

Această tensiune $\mathring{E}_p$ este independentă de lungimea de paralelism.

În condiții normale, circuitul pasiv este legat la pămînt la ambele capete. Avînd în vedere că impedanțele terminale sînt mult mai mici ca reactanța capacitivă ($1/\omega C_{ip}$), rezultă că se poate stabili valoarea curentului $\mathring{i}$ din schema din figura 3 *b* cu relația :

$$\mathring{i} = j\mathring{E}_i \cdot \omega \cdot C_{ip} \cdot l \tag{1.8}$$

unde l este lungimea liniei.

Se constată că pentru schema din figura 3 *b* sînt valabile relațiile :

$$\mathring{i} = \mathring{i}_L + \mathring{i}_R \tag{1.9}$$

$$\mathring{V}_L = \mathring{V}_R = \mathring{i}_L \cdot \mathring{Z}_L = \mathring{i}_R \cdot \mathring{Z}_R \tag{1.10}$$

În cazul liniilor electrice cu circuite multiple, cîmpul electric este generat de mai multe conductoare.

În cazul unui număr de n conductoare se pot scrie relațiile Maxwell sub formă matricială, și anume :

$$[\mathring{q}] = [C] \cdot [\mathring{U}] \tag{1.11}$$

unde

$[\mathring{q}]$ este matricea-coloană a sarcinilor pe cele n conductoare ;

$[C]$ — matricea pătrată $[n \times n]$ a capacităților conductoarelor liniei stabilită cu ajutorul programului PARALEM, întocmit la ISPE.

$[\mathring{U}]$ — matricea-coloană a tensiunilor pe cele n conductoare.

Considerînd că p conductoare nu sînt sub tensiune, rezultă că relația (1.11) devine de forma :

$$\begin{bmatrix} [\mathring{q}]_{n-p} \\ [0]_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [C_1]_{n-p,\,n-p} \cdot [C_2]_{n-p;\ p} \\ [C_3]_{p;\ n-p} \quad [C_4]_{p,p} \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\mathring{U}]_{n-p} \\ [U_{ic}]_p \end{bmatrix} \tag{1.12}$$

unde $[U_{ic}]_p$ este matricea tensiunilor induse electrostatic.

În aceste condiții, matricea tensiunilor induse electrostatic se determină cu relația :

$$[\mathring{U}_{ic}]_p = -[C_4]^{-1}_{p,p} \times [C_3]_{p,\,n-p} \cdot [\mathring{U}]_{n-p} \tag{1.13}$$

unde $[C_4]_{pp}$ este matricea capacităților conductoarelor în care se induce tensiunea ;

$[C_3]_{p,np}$ — matricea capacităților dintre conductoarele care induc tensiunea și conductoarele în care se induce tensiunea ;

$[\mathring{U}]_{n-p}$ — matricea tensiunilor pe conductoarele aflate sub tensiune.

În regim simetric trifazat tensiunile pe cele trei faze ale unui circuit formează un sistem de 3 vectori simetrici.

$$\begin{cases} \mathring{U}_1 = U \\ \mathring{U}_2 = (-0{,}5 + j\,0{,}866)\,U \\ \mathring{U}_3 = (-0{,}5 - j\,0{,}866)\,U \end{cases} \tag{1.14}$$

Avînd în vedere că se dorește stabilirea curentului de supraalimentare a arcului în cazul RARM, datorită existenței tensiunii induse electrostatic, se consideră relația de calcul de tip (1.8) în forma sa matricială :

$$[\mathring{I}\,] = -j\,[\mathring{E}]\,[C] \cdot \omega \cdot l \tag{1.15}$$

În cazul RARM, o singură fază fiind deconectată și pusă la pămînt, rezultă că relația (1.15) se transformă, devenind :

$$\begin{bmatrix} [\mathring{I}]_{n-1} \\ [\mathring{I}_{sc}]_1 \end{bmatrix} = -j\,\omega \cdot l \begin{bmatrix} [C_1]_{n-1,\,n-1} [C_2]_{n-1,\,1} \\ [C_3]_{1,\,n-1} \quad [C_4]_{1,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\mathring{E}]_{n-1} \\ [R \cdot \mathring{I}_{sc}]_1 \end{bmatrix} \tag{1.16}$$

În aceste condiții curentul de supraalimentare se determină cu relația :

$$\mathring{I}_{sc} = \frac{j \cdot \omega \cdot l}{1 - j \cdot \omega \cdot l \cdot C_4 R} \cdot [C_3]_{l,n-1} \cdot [E]_{n-1} \tag{1.17}$$

unde

R este rezistența arcului :

C_4 — capacitatea proprie a fazei considerate ;

$[C_3]_{l,n-1}$ — matricea capacităților între conductorul fazei considerate și conductoarele celorlalte faze ;

$[\mathring{E}]_{n-1}$ — matricea tensiunilor pe fazele nedeconectate, construită cu ajutorul relațiilor (1.14).

ANEXA 2

Metodologie pentru calculul intensității cîmpului electric la suprafața conductorului unei linii electrice aeriene

Intensitatea medie a cîmpului electric la suprafața conductorului se determină cu următoarele relații :

— în cazul liniilor cu un singur conductor pe fază :

$$E_{med} = 0{,}0018\,\frac{q}{r_0}\ [\mathrm{kV/m}]\,; \tag{2.1}$$

— în cazul liniilor cu n conductoare pe fază :

$$E_{med} = 0{,}0018\,\frac{q}{n \cdot r_0}\ [\mathrm{kV/m}], \tag{2.2}$$

unde

q este sarcina electrică pe conductorul fazei ;

r_0 — raza unui conductor.

Intensitatea maximă a cîmpului electric la suprafața conductorului se stabilește cu relația :

$$E_{max} = k \cdot E_{med} \tag{2.3}$$

unde

k este un coeficient ce se determină cu relația :

$$k = 1 + \beta \cdot \frac{r_0}{a} \cdot \tag{2.4}$$

a — distanța între conductoarele fascicolului, în cm;
β — coeficient ce depinde de configurația fascicolului și se determină din tabelul de mai jos.

Numărul de conductoare pe fază	2	3	4	5	6
Coeficientul β	2	$2\sqrt{3}$	$3\sqrt{2}$	4,7	6

Legătura între potențialele și sarcinile unui sistem format din n conductoare se reprezintă prin relațiile Maxwell (prezentate în anexa 1).

Avînd în vedere matricea tensiunilor $[U]$ pe fazele circuitelor construite cu ajutorul relațiilor (1.14), se calculează sarcinile electrice pe conductoarele circuitelor, Cunoscîndu-se aceste sarcini prin programul CIMP, se calculează intensitatea cîmpului electric la suprafața conductoarelor circuitelor.

Bibliografie

[1] Haubrich, H. I., Hosemann, G. și Thomas, R. *Autoréenclenchement monophasé dans les réseaux à très haute tension.* CIGRE, 1974, rap. 31.09.

[2] * * * *Electromagnetic effects of overhead transmission lines. Practical problems, safewards and methods of calculation.* PAS nr. 3, mai-iunie, 1974.

[3] * * * *Dalnie elektroperedacii 750 kV. Vozdușnie linii.* Gosenergoizdat, Moscova, 1974.

[4] Popovici, N. *Analiza pierderilor prin fenomen corona pentru liniile 400 kV din R.S.R.* În: Energetica, 21, nr. 8, 1973.

[5] Vatră, F. și Cristovici, A. *Unele probleme ridicate de influențele electrostatice ale liniilor electrice aeriene de ultrainaltă tensiune.* În: Energetica, 23, nr. 9—10, 1975.

[6] Necșulescu, D. S. *Estimating lightning outage rate of multiple circuit overhead electrical lines.* În: Revue roumaine des sciences techniques, Serie électrotechnique et Énergetique, 1977.

[7] Blackburn, J. L. *Voltage induction in parallel transmission circuits.* În: PAS, februarie 1963.

(Articol intrat în redacție la 17 februarie 1977)

Puncte de vedere privind insularizarea unor centrale electrice de termoficare pe consum local

Ing. **M. Stein**
și ing. **G. Popescu***)

Insularizarea centralelor electrice din apropierea unor mari centre de consum este, fără îndoială, o măsură care mărește siguranța în alimentare a marilor consumatori.

Alegerea soluției optime pentru realizarea insularizării nu este însă o problemă simplă, deoarece pot apărea unele contradicții între favorizarea condițiilor pentru o insularizare reușită și neafectarea siguranței schemelor de funcționare — atît în centrală, cît și de alimentare a consumatorilor — în regim normal de funcționare. Acest regim de funcționare este de fapt regimul de durată, insularizarea fiind necesară numai în cazurile relativ rare ale unor avarii extinse în sistem.

Pe de altă parte, este foarte greu să se propună rețete general valabile, dat fiind multiplele particularități pe care le prezintă fiecare platformă consumatoare în parte, particularități determinate de o multitudine de factori, și în primul rînd de condițiile impuse de diferitele procese tehnologice sau echipamente receptoare de energie.

Unele soluționări generale pot fi însă analizate și cu ajutorul metodelor utilizate în calculele de siguranță.

*) Manfred Stein este inginer proiectant principal I la ISPE; Gabriel Popescu este inginer principal II la CIPEET.

Puncte de vedere

Pentru a evita erorile de interpretare sau particularizarea unor concluzii, se vor utiliza relații literare, cu atribuirea unor valori pentru parametrii de calcul numai cu titlu de exemplificare. Soluțiile analizate vor fi numai soluții de principiu, cu excluderea unor restricții impuse, cum ar fi, de exemplu, cele posibile pentru anumite scheme realizate pe teren.

Se va considera, dată fiind importanța consumatorilor de pe platforme, că fiecare centru de consum (stație de consum) va fi alimentat de pe două bare distincte ale sistemului, fiind prevăzut AAR pe cupla dintre secțiile de bare ale consumatorului la care sînt racordate cele două alimentări, AAR care nu poate fi blocat în cazul insularizării datorită extinderii mari a rețelei și numărului mare al acestor automatici.

De asemenea, se va considera că schimbul de putere cu sistemul energetic între diferitele insule potențiale de producție și consum de energie este mic ($\Delta N \simeq 0$) sau, în orice caz, slab excedentar spre sistem [1].

Schemă de insularizare cu realizarea a două insule

În figura 1 este prezentată schema de alimentare a unei platforme.

Notînd cu P — probabilitatea de insularizare reușită și cu Q — probabilitatea de insularizare nereușită a unei insule, rezultă relația:

$$(P + Q)^n = 1 \qquad (1)$$

În cazul a două insule, ca în figura 1, $n = 2$ și deci:

$$P^2 + 2 \cdot P \cdot Q + Q^2 = 1, \qquad (2)$$

în care

P^2 este probabilitatea insularizării reușite a ambelor insule;

Q^2 — probabilitatea insularizării nereușite a ambelor insule;

$2.P \cdot Q$ — probabilitatea ca numai una dintre cele două insule să se insularizeze reușit.

Pornind de la premisa că sursele de pe fiecare insulă sînt practic echilibrate cu consumul de pe acestea, rezultă că, în cazul pierderii unei

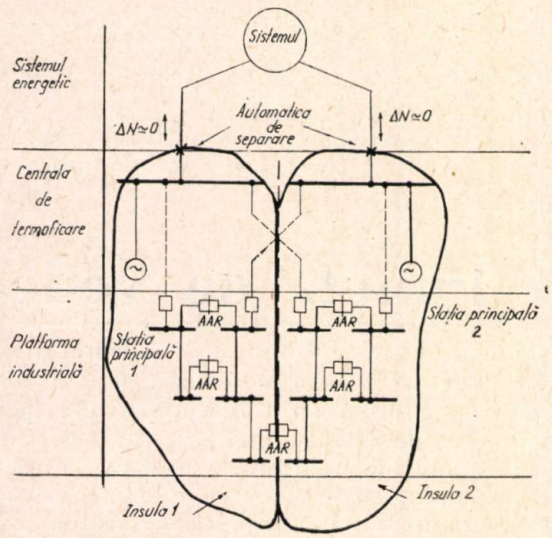


Fig. 1

insule în cursul procesului de insularizare, prin acțiunea AAR pe platformă practic toată sarcina platformei va fi comutată pe insula rămasă în funcțiune. În această situație, sarcina pe grupurile insularizate reușit va crește cu circa 100% față de puterea disponibilă în insula rămasă în funcțiune, ceea ce va avea ca urmare prăbușirea și a acestei insule. În consecință, în relația (2), stările avînd probabilitățile Q^2 și $2 \cdot P \cdot Q$ reprezintă stări de insucces pentru rămînerea platformei în funcțiune.

Deci probabilitatea de succes și probabilitatea de insucces în această schemă de insularizare vor fi:

$$P_{succes} = P^2$$

$$P_{insucces} = 2 \cdot P \cdot Q + Q^2, \qquad (3)$$

aceasta din urmă reprezentînd totodată probabilitatea întreruperii alimentării pe toată platforma industrială.

Schemă de insularizare cu realizarea a trei insule

Pentru cazul acesta, schema de principiu este prezentată în figura 2.

În acest caz, $n = 3$, și relația (1) se scrie:

$$P^3 + 3 \cdot P^2 \cdot Q + 3 \cdot P \cdot Q^2 + Q^3 = 1, \qquad (4)$$

unde

P^3 este probabilitatea insularizării reușite a tuturor celor trei insule;

Q^3 — probabilitatea insularizării nereușite a tuturor celor trei insule;

$3.\ P^2 \cdot Q$ — probabilitatea ca două insule să se insularizeze reușit, iar una nu;

$3.\ P \cdot Q^2$ — probabilitatea ca o insulă să se insularizeze reușit, iar două nu.

Din aceleași motive ca mai sus, este suficient ca insularizarea să nu se realizeze pe oricare din cele trei insule pentru ca, în urma acțiunii AAR, să se producă prăbușirea întregii platforme.

De aceea, în acest caz, probabilitatea de succes, respectiv de insucces este:

$$P_{succes} = P^3$$

$$P_{insucces} = 3 \cdot P^2 \cdot Q + 3 \cdot P \cdot Q^2 + Q^3 \qquad (5)$$

Deoarece, conform premiselor avute în vedere, toate stările, în afară de prima, a cărei probabilitate este egală cu P^n, reprezintă stări de insucces, rezultă evident că, odată cu creșterea numărului n al insulelor, probabilitățile de succes (de menținere a alimentării platformei) scad, dat fiind că P este o valoare subunitară.

Această concluzie este interesantă deoarece este valabilă independent de valoarea probabilităților P și Q, care, deocamdată, nu pot fi încă estimate corect.

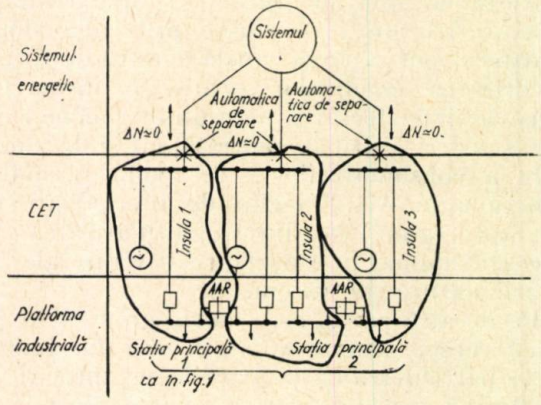


Fig. 2

Schemă de insularizare cu o singură insulă

Schema de principiu pentru această situație este prezentată în figura 3.

Avînd în vedere că în acest caz $n = 1$, relația (1) se scrie:

$$P + Q = 1,$$

iar probabilitatea de succes, respectiv de insucces este :

$$P_{succes} = P$$

$$P_{insucces} = Q$$

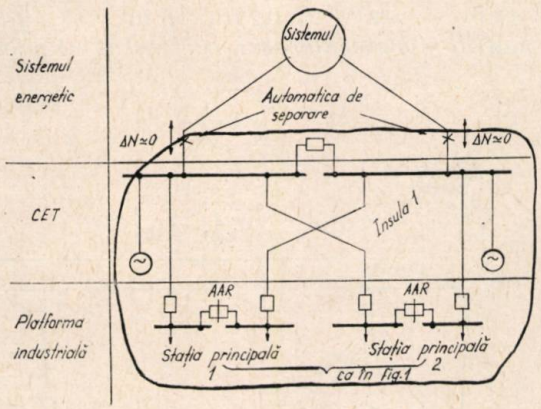


Fig. 3

Conform celor arătate la punctul precedent, rezultă că soluția cu o singură insulă este cea mai sigură ($P > P^n$; $n > 1$).

Pentru exemplificare, în tabelul 1 se sintetizează datele obținute în urma parametrizării valorii lui P cu $P = 0{,}95$; 0,90 și 0,85.

Tabelul 1

Nr. de insule	Valoarea pentru P	Probabilitatea de succes a insularizării		Probabilitatea de insucces a insularizării	
		Relația	Valoarea	Relația	Valoarea
1	0,95	P	0,95	$1-P$	0,05
	0,90		0,90		0,10
	0,85		0,85		0,15
2	0,95	P^2	0,89	$1-P^2$	0,11
	0,90		0,81		0,19
	0,85		0,72		0,28
3	0,95	P^3	0,84	$1-P^3$	0,16
	0,90		0,73		0,27
	0,85		0,61		0,39
4	0,95	P^4	0,80	$1-P^4$	0,20
	0,90		0,66		0,34
	0,85		0,52		0,48

În legătură cu probabilitățile de insularizare reușită este de făcut însă observația că, cu cît pentru un anumit număr total de grupuri insularizabile se creează mai multe insule, cu atît în fiecare insulă rămîn în funcționare paralelă și insularizată mai puține grupuri — la limită, numai unul singur.

Acest aspect poate avea unele influențe asupra valorii probabilității de insularizare reușită P, în sensul că valoarea acestei probabilități poate scădea odată cu creșterea numărului grupurilor în insulă, dat fiind efectul perturbator pe care poate să-l aibă , de exemplu, nefuncționarea corectă a regulatoarelor grupurilor rămase să funcționeze în paralel. (Dacă însă perturbația produsă la insularizare, respectiv șocul de putere $\pm \Delta N$ ce se produce pe grupurile din insulă, este mic în raport cu puterea disponibilă, atunci acest risc suplimentar poate fi considerat redus în condiția în care se dispune de regulatoare bune și bine ajustate).

Rezultă deci că insularizarea tuturor grupurilor într-o singură insulă poate afecta și negativ probabilitatea de succes a insularizării.

Din analiza datelor din tabelul 1 rezultă însă că se poate admite chiar o scădere considerabilă a probabilității de insularizare reușită P pentru o singură insulă (cu mai multe grupuri) — de exemplu $P = 0{,}865$ —, fără ca aceasta să dezavantajeze această soluție în raport cu soluția cu trei insule, pentru care, deși probabilitatea de succes pentru fiecare insulă este mare (de exemplu 0,95), probabilitatea de insularizare a tuturor celor trei insule rezultă ca fiind mică ($< 0{,}85$) pentru același exemplu (valorile încadrate în tabelul 1).

Bineînțeles că în anumite situații particulare pot să apară cazuri în care, din condițiile de comportare a unor grupuri, soluția care prevede menținerea lor în paralel după insularizare să fie foarte riscantă.

★

Din cele arătate rezultă evident că soluția cea mai favorabilă pentru insularizare este cea cu o singură insulă pentru tot consumul și pentru toate sursele locale.

Cu toate că realizarea numai a unei singure insule este și foarte avantajoasă pentru consumatori, apare însă contradicția, semnalată la început, între soluția optimă pentru insularizare și regimul optim de funcționare pentru siguranță în regim normal.

Într-adevăr, dacă se realizează o singură insulă, nu va putea fi evitată soluția realizării unei rețele unice, neseparate, de alimentare a consumatorilor împreună cu toate sursele de alimentare, cu încălcarea principiului de alimentare separată din cel puțin două secții de bare nelegate între ele la tensiunea de distribuție (fig. 3). Dezavantajele unei asemenea funcționări sînt cunoscute în special în cazul consumatorilor sensibili la goluri sau variații de tensiune, dat fiind că orice defect în rețeaua de alimentare (sau exterioară, dar la aceeași tensiune cu aceasta) afectează întreaga rețea. Pentru a se reduce efectul acestor evenimente, se poate concepe o schemă de insularizare în care se realizează o insulă la nivelul unei tensiuni superioare celei de distribuție (de exemplu la nivelul tensiunii de 220 kV în cazul distribuției la 110 kV), în care principiul alimentării

separate este respectat. Cu toate că o asemenea soluţie nu trebuie exclusă, ea prezintă însă dezavantajul că, după insularizare, funcţionarea în paralel a grupurilor în insulă se realizează prin intermediul unor reactanţe însemnate (între reţeaua de 110 şi 220 kV), iar pe de altă parte se pot introduce restricţii în schema de funcţionare a reţelelor de 220 kV, fapt care poate influenţa siguranţa acestora.

O altă variantă de îmbunătăţire considerabilă a soluţiilor, astfel încît să se realizeze şanse cît mai bune de insularizare, fără afectarea siguranţei schemelor în funcţionare normală, constă în realizarea blocajului schemelor AAR în cazul insularizării. În acest caz, insularizarea nereuşită a uneia dintre insule nu antrenează pierderea celorlalte (conform relaţiilor 3 şi 4, probabilitatea de succes crescînd în acest caz).

Acest blocaj poate fi realizat relativ uşor în scheme cu puţine instalaţii AAR sau în scheme în care se blochează numai acele AAR care comută sarcini importante.

Blocarea se poate face fie prin impuls emis chiar de către automatica de separare cu transmiterea prin cabluri-pilot, fie prin relee de frecvenţă instalate local, în punctele de acţionare a AAR, care la o frecvenţă superioară celei de insularizare comandă blocarea AAR.

Dacă există însă multe instalaţii AAR ce urmează a fi blocate, sau ele sînt răspîndite pe un teritoriu mare, ambele aceste soluţii pot fi greoaie şi scumpe.

Din cele relatate rezultă concluzia că soluţia *ideală* de insularizare este deci următoarea:

a) prevederea unei singure insule;

b) pe această insulă să debiteze pe cît posibil un singur grup pe o sarcină echilibrată cu puterea acestuia (pentru a se evita riscurile funcţionării în paralel după insularizare);

c) această sarcină să fie prevăzută cu blocajul AAR în cazul insularizării;

d) siguranţa reţelelor de alimentare a platformei să nu fie afectată în regim normal de funcţionare;

e) grupul de pe această insulă să fie interschimbabil cu alte grupuri în cazul indisponibilităţii acestuia.

Ca orice soluţie ideală, aceasta nu va putea fi realizată în multe cazuri în practică (dat fiind că nu satisface necesitatea insularizării consumului de pe platformă), dar se pot lua măsuri de apropiere, urmărindu-se totodată şi necesitatea asigurării condiţiilor pentru alimentarea întregii platforme în caz de insularizare.

Aceste măsuri în condiţiile expuse la începutul acestei lucrări — *inexistenţa unor restricţii în alegerea soluţiilor* atît pentru schema CET cît şi pentru reţelele consumatorului, ar consta în:

a) realizarea unei insule „ideale", conform celor arătate, pentru o sarcină parţială a platformei şi, totodată

b) realizarea, pentru aceeaşi platformă, a unei soluţii corespunzătoare pentru insularizarea restului de consum de pe platformă, într-una din variantele de mai sus.

O astfel de schemă ar putea avea configuraţia de principiu din figura 1, adaptată şi detaliată aşa cum se arată în figura 4, în care *numai în staţiile consumatorului care sînt alimentate*

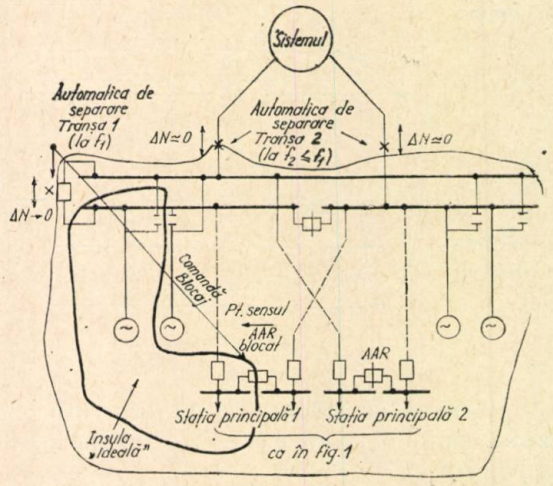


Fig. 4

în insula „ideală" AAR este blocat de automatică (adică numai un număr relativ redus de astfel de automatici).

Comanda de insularizare pentru această insulă dacă este bine echilibrată din punct de vedere producţie-consum ($\Delta N_1 \to 0$), se poate emite, fără consecinţe pentru sistem sau consumator, eventual şi la o frecvenţă superioară faţă de restul consumului platformei (de exemplu la 48 Hz, faţă de 47,5 Hz), astfel încît şi din acest punct de vedere să i se realizeze condiţii mai favorabile.

Se obţine astfel o şansă foarte mare ca, în ultimă instanţă (chiar în cazul nereuşitei insularizării restului consumului), cel puţin o parte a acestuia să fie alimentat în continuare şi cel puţin un grup din centrală să rămînă în funcţiune, ceea ce este deosebit de important pentru cazul avariilor grave extinse de sistem.

Se vede că în această schemă siguranţa de funcţionare în schema normală nu este afectată, dar trebuie menţionat că pentru insula „ideală" este necesară asigurarea unei secţii de bare separate în schema de conexiuni.

Concluzii

Din cele arătate se desprinde faptul că există soluţii pentru noile platforme în care şansele pentru realizarea insularizării să fie maxime. Este însă neapărat necesară asigurarea participării şi a conlucrării strînse cu factorii care concep instalaţiile furnizoare şi consumatoare de energie electrică şi de abur.

Pentru instalațiile existente, soluțiile trebuie să se apropie, în măsura posibilităților existente în fiecare caz în parte, cît mai mult de cele indicate.

În cazul în care, într-adevăr, o asemenea insulă (ideală) sigură poate fi realizată — deci pentru care se va urmări în mod special și un echilibru permanent din punctul de vedere al puterii produse și consumate (în condiția încărcării corespunzătoare a grupurilor) — o mărire considerabilă a siguranței în alimentarea unor platforme foarte importante se poate obține și prin scoaterea voită, preventivă, a grupului în funcționare insulară, pe durate limitate, de ordinul orelor, atunci cînd sînt anunțate fenomene ale naturii (viscol puternic, furtuni, descărcări atmosferice intense etc.), în vederea asigurării continuității alimentării unor receptoare foarte importante ale platformei, pentru cazul în care aceste fenomene ar afecta un număr considerabil de legături cu sistemul, cu consecințe potențiale importante asupra condițiilor de bună funcționare a celorlalte grupuri din centrală.

În sfîrșit, se pot avea în vedere în instalațiile noi și soluții în care unele dintre grupurile de termoficare debitează la tensiunea generatoarelor pe rețeaua consumatorilor de pe platformă, creîndu-se pentru aceștia insule în condiții ideale, iar alte grupuri, care ar reprezenta excedentul de putere în raport cu platforma, să fie racordate la sistem, la o tensiune superioară.

Bibliografie

[1] * * * *Instrucțiuni pentru insularizarea CET de pe platformele industriale.* ISPE, 1978.

(Articol intrat în redacție la 19 iunie 1978)

CRONICĂ

Stadiul protecției și valorificării creațiilor științifice și tehnice protejabile la Institutul de cercetări și modernizări energetice la finele anului 1977

Ing. **C. Văideanu***)

Protecția și valorificarea creațiilor științifice și tehnice a devenit, încă de la finele secolului trecut, o problemă atît de importantă pe plan mondial, încît au fost elaborate pe parcurs numeroase convenții și aranjamente internaționale.

Dezvoltarea rapidă a științei și tehnicii după cel de-al doilea război mondial, și în special amploarea cercetării științifice, a condus la realizarea unui număr imens de creații științifice și tehnice, precum și la noi descoperiri. În fața acestei situații erau necesare noi forme de organizare și colaborare între statele lumii cu privire la protecția creațiilor științifice și tehnice și folosirea acestora pe baze de reglementări interne și internaționale, armonizate și precizate. Astfel a luat ființă, la 14 iulie 1967, Organizația Mondială a Proprietății Intelectuale (OMPI), organ specializat al ONU, format prin contopirea a două organizații internaționale existente, și anume: Convenția de la Paris — Convenția pentru protecția proprietății industriale, semnată la 20 martie 1883, inclusiv fiecare din actele sale revizuite, și Convenția de la Berna — Convenția pentru protecția operelor literare și artistice, semnată la 9 septembrie 1886, inclusiv fiecare din actele sale revizuite.

În articolul de față se tratează numai probleme de protecție a proprietății industriale, precum și valorificarea acestor creații, care face obiectul Convenției de la Paris, art. 1 al 2, și anume: brevetele de invenții, modelele de utilitate, desenele sau modelele industriale, mărcile de fabrică sau de comerț, mărcile de serviciu, numele comercial, indicațiile de proveniență sau denumirile de origine, precum și reprimarea concurenței neloiale (falsuri, contrafaceri etc.). Recent se află în curs de reglementare problema descoperirilor științifice, precum și protecția juridică a programelor ordinatoarelor.

Numărul din ce în ce mai mare de creații științifice și tehnice brevetate și stocate de către oficiile naționale de brevete ale țărilor membre ale OMPI, precum și drepturile acordate de organizație au condus, în special din partea țărilor puternic industrializate, la un interes deosebit pentru piețele țărilor slab dezvoltate sau în curs de dezvoltare, unde au obținut un mare număr de brevete de invenții, ceea ce le asigură desfacerea produselor noi brevetate fără nici o concurență, sau le asigură vînzări de licențe, colaborări, vînzări de „know-how"-uri etc. În anexa 1 este dată situația ce-

*) Constantin Văideanu este inginer principal la ICEMENERG, licențiat și în fizico-matematici, responsabil cu problemele privind protecția proprietății industriale.

rerilor de brevete de invenţii depuse la oficiile de invenţii şi a brevetelor acordate în 103 state, în anul 1974, conform datelor furnizate de OMPI. Din acest tabel rezultă că în majoritatea ţărilor în curs de dezvoltare, slab dezvoltate sau chiar ţări mai mici industrializate, cererile de brevete de la străini depăşesc cererile de brevete de la naţionali. Numai S.U.A. şi Japonia au stocul de tehnologie propriu excedentar faţă de cel străin. Ţările socialiste, de asemenea, au stocul naţional de tehnologie protejată excedentar faţă de cel străin.

Dezvoltarea cercetării ştiinţifice în diverse domenii, ca : energia nucleară, spaţiul cosmic, fundul mărilor, Antarctica, medicina etc., a condus la realizarea de invenţii şi a unor descoperiri de importanţă deosebită, pe care ţările respective, care au investit sume mari în aceste cercetări, nu le publică, acestea neluînd parte la schimburile obişnuite de tehnologii între ţările membre ale OMPI. Astffel, există practic în fiecare ţară trei evidenţe ale creaţiilor ştiinţifice şi tehnice protejabile, şi anume :

a) O evidenţă reglementată prin recomandări ale OMPI a invenţiilor cu care se pot face schimburi de descrieri bilaterale, vînzări sau cumpărări de brevete, vînzări sau cumpărări de licenţe, vînzări sau cumpărări de „know-how" etc.

b) O evidenţă a unor invenţii considerate de statele membre ca fiind secrete şi care nu iau parte la transferurile reciproce de tehnologii conform reglementărilor OMPI.

c) O evidenţă a descoperirilor ştiinţifice de asemenea ţinute secrete, problemă care este în curs de reglementare la Biroul internaţional al OMPI.

Problemele privind protecţia proprietăţii industriale pe plan mondial sînt foarte numeroase şi deosebit de complexe, unele fiind în curs de reglementare, iar altele nefiind încă abordate, articolul de faţă neavînd scopul de a le analiza.

În ţara noastră, Oficiul de Stat pentru Invenţii şi Mărci — organ central specializat în problemele protecţiei proprietăţii industriale — a elaborat pe parcurs acte normative interne ţinînd seama de convenţiile şi aranjamentele internaţionale cu privire la protecţia proprietăţii industriale pe care Republica Socialistă România le-a ratificat. Astfel, Legea nr. 62/1974 privind invenţiile şi inovaţiile prevede în numeroase articole sarcini pentru institutele de cercetări pentru depistarea soluţiilor originale şi depunerea la OSIM a unui număr cît mai mare de cereri de brevete, mărind astfel stocul naţional de creaţii ştiinţifice şi tehnice protejate. Deşi, după cum rezultă din anexa 1, pentru ţara noastră numărul cererilor de la naţionali este mai mare decît cel de la străini (în anul 1974), aceasta nu înseamnă că naţionalii noştri au depus pentru protecţie la OSIM toate soluţiile brevetabile pentru a fi înregistrate.

Dacă se compară, în acelaşi an, 1974, numărul de cereri de la naţionali în România, care a fost de 2521, cu numărul de cereri de la naţionalii din Bulgaria, de 2336, se constată că la noi se puteau face mai multe înregistrări, în raport cu numărul de locuitori. Cu cît avem mai multe invenţii înregistrate de la naţionali, cu atît industria proprie este mai degajată în activitatea ei, nefiind jenată sau blocată de invenţii brevetate în vigoare de la străini şi obligată astfel să cumpere licenţe.

Această problemă este mult mai importantă decît s-ar părea la prima vedere ; ea a devenit o problemă mondială de actualitate, iar ţările slab dezvoltate sau în curs de dezvoltare solicită tot mai mult accesul în condiţii cît mai favorabile la tehnologiile moderne deţinute de ţările industrializate sub protecţie.

Potrivit Legii nr. 62/1974 privind invenţiile şi inovaţiile, în cadrul ICEMENERG s-au întreprins acţiuni în vederea depistării soluţiilor tehnice protejabile şi întocmirii descrierilor de invenţii în vederea depunerii la OSIM pentru protecţie. De asemenea s-a dus o activitate de informare şi documentare a cercetătorilor cu privire la rolul şi importanţa protecţiei proprietăţii industriale, prin punerea la dispoziţia acestora a materialelor de care am dispus şi în special actele normative interne care reglementează această activitate (anexa 2).

S-a urmărit ca prin această muncă de fond cercetătorii din ICEMENERG să cunoască bine aceste probleme care frămîntă la ora actuală omenirea, inclusiv ţara noastră, şi, pornind de la înţelegerea lor, să contribuie la mărirea stocului de creaţii ştiinţifice şi tehnice protejate ale ţării noastre. În graficul din figura 1 este arătată evoluţia depunerilor la OSIM a cererilor de brevete de către personalul

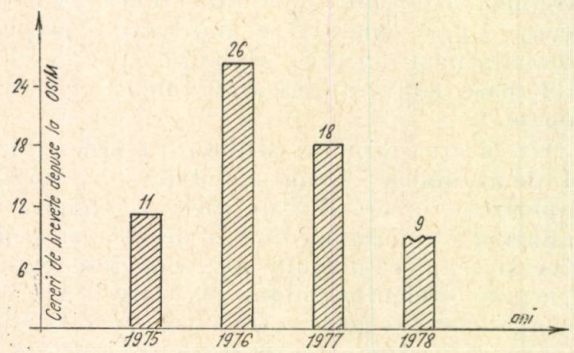


Fig. 1. Evoluţia protecţiei soluţiilor brevetabile începînd cu 2 februarie 1975 (aplicarea Legii 62/1974). (Pînă la 30 septembrie 1978, numărul cererilor de brevete depuse la OSIM de cercetătorii din ICEMENERG a fost de 18, iar pînă la finele anului 1978 se estimează că va ajunge la 20).

de cercetare al ICEMENERG, iar în figura 2 stadiul protecţiei creaţiilor ştiinţifice şi tehnice brevetabile repartizate de Ministerul Energiei Electrice în proprietatea institutului.

O constatare îmbucurătoare este aceea că s-a îmbunătăţit calitatea descrierilor de invenţii avînd în prezent un mare număr de cercetători care ştiu să întocmească o documentaţie tehnică pentru brevetare. În aceste documentaţii

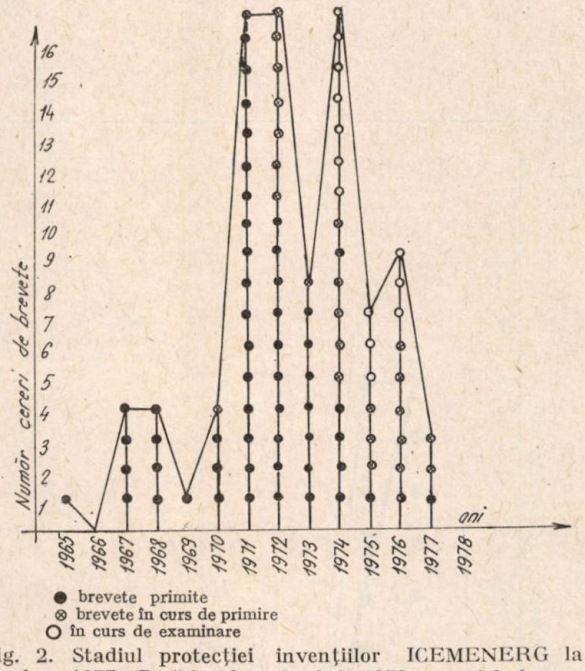


Fig. 2. Stadiul protecţiei invenţiilor ICEMENERG la 31 dec. 1977. (Pînă la 30 septembrie 1978 au mai fost repartizate de M.E.E. în proprietatea ICEMENERG, din depunerile de cereri de brevete din anul 1977, încă opt invenţii; astfel stocul de invenţii depus în 1977 revenind ICEMENERG creşte de la 3 la 11 pe anul 1977).

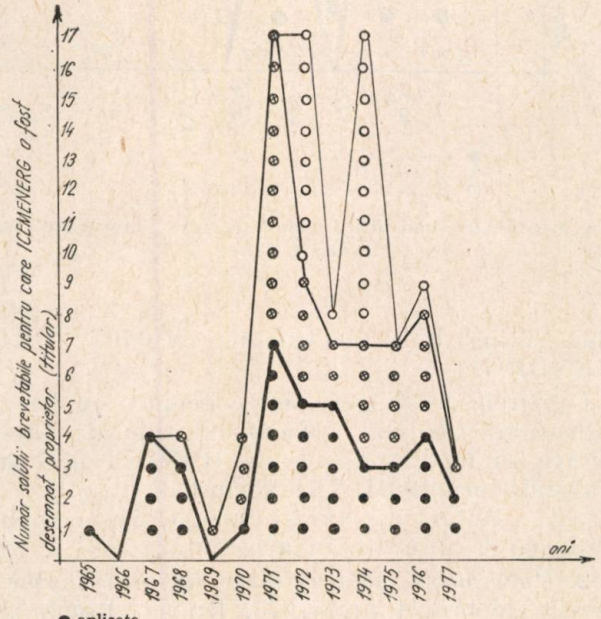


Fig. 3. Stadiul valorificării invenţiilor ICEMENERG la 31 dec. 1977. (Pînă la 30 septembrie 1978 au fost primite în proprietatea ICEMENERG, din stocul din anul 1977, încă opt invenţii, care toate sînt în experimentare. Astfel numărul de invenţii în experimentare din 1977 este de 11).

trebuie să se folosească termeni internaţionali, şi nu cei locali, de uzină sau de laborator, aşa cum folosesc de obicei autorii.

În figura 3 este redat stadiul valorificării invenţiilor ICEMENERG la 31 decembrie 1977. Din totalul de 92 invenţii, 38 erau aplicate, 32 experimentate şi 22 în curs de experimentare sau în studiu.

Gradul de preocupare a institutului pentru valorificarea invenţiilor proprii este dintre cele mai ridicate, concretizîndu-se în:

— invenţii aplicate $38/92 \times 100 = 41\%$;
— invenţii experimentate $32/92 \times 100 = 35\%$;
— invenţii în studiu sau experimentare $22/92 \times 100 = 24\%$.

Se menţionează că pe plan mondial procentul mediu al invenţiilor aplicate este de 5—6 %.

Dintre invenţiile mai importante ale ICEMENERG aplicate în producţie pot fi citate:

1. *Dispozitiv de acţionare pneumatică cu membrană pentru robinete* (Brevet România nr. 65795), autori: ing. St. Popovici, maistru V. Anghelescu, tehn. M. Măciucă, tehn. C. Vasilescu, strungar I. Moldoveanu şi sudor I. Stroescu. Titular: ICEMENERG. Executant: Energoreparaţii.

Prin aplicarea acestei invenţii s-a redus importul pentru anul 1977 cu circa 8 000 000 lei.

2. *Aparat tranzistorizat pentru măsurarea unghiului intern al maşinilor sincrone şi al defazajelor mărimilor electrice din sistemul electroenergetic* (*AMITETA*). Brevet România nr. 58788, autori: ing. D. Creţu, ing. M. Zalman, ing. M. Ţînţăreanu şi tehn. I. Craioveanu. Titular: ICEMENERG. Executant: ICEMENERG.

Aparatele au fost montate la CHE Porţile de Fier, iar economiile anuale sînt estimate la 3 000 000 lei.

3. *Instalaţie pentru spălarea izolaţiei electrice sub tensiune.* Brevet România nr. 56634, autori: ing. C. Munteanu, ing. M. Dăncilă şi ing. M. Zalman. Titular: ICEMENERG. Executant: ICEMENERG.

Pînă în prezent au fost executate şase instalaţii, care au fost livrate unor întreprinderi de reţele electrice din ţară. Economiile anuale realizate prin folosirea acestor instalaţii (4 din cele 6 livrate) sînt de circa 20 000 000 lei.

În tabelul 1 este arătată situaţia protecţiei brevetelor ICEMENERG la 31 decembrie 1977.

Din această situaţie reiese că în primii cinci ani sînt 27 de invenţii cu brevete, în intervalul 6—8 ani 38 brevete, iar în intervalul 9—15 ani 10 brevete. Brevetele din intervalul 9—15 ani şi-au pierdut din interes, acestea fiind realizate şi practic epuizate sau depăşite.

De altfel, şi unele brevete din intervalul 6—8 ani sînt depăşite, deoarece între timp au apărut altele noi, urmînd ca pentru unele dintre ele să se renunţe la menţinerea în vigoare a protecţiei.

Tabelul 1

Anul înregistrării la OSIM	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Numărul de invenţii din portofoliu	1	0	4	4	1	4	17	17	8	17	7	9	3
Număr de brevete primite sau în curs de primire	1	0	4	4	1	4	17	17	8	10	4	4	1
Vechimea brevetelor, în ani	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

În prezent situaţia procentuală a vechimii brevetelor ICEMENEG la 31 decembrie 1977 este următoarea:

- brevete în anii 1—5 36 %
- brevete în anii 6—8 50 %
- brevete în anii 9—15 14 %

Statistica internaţională arată că se menţin în vigoare în general următoarele procente:

- în anul al 5-lea 70 %
- în anul al 10-lea 20 %
- în anul al 15-lea 10 %

În ceea ce priveşte protecţia unor creaţii ştiinţifice şi tehnice în alte ţări, ICEMENERG are în curs de brevetare trei noi invenţii, şi anume:

1. *Camera de stingere pentru întreruptoare electrice de înaltă tensiune cu mare putere de rupere.* Cerere de brevet nr. 86005, Brevet România nr. 66003, autori: prof. ing. N. Gheorghiu şi ing. Basarab Guzun. Titular: ICEMENERG.

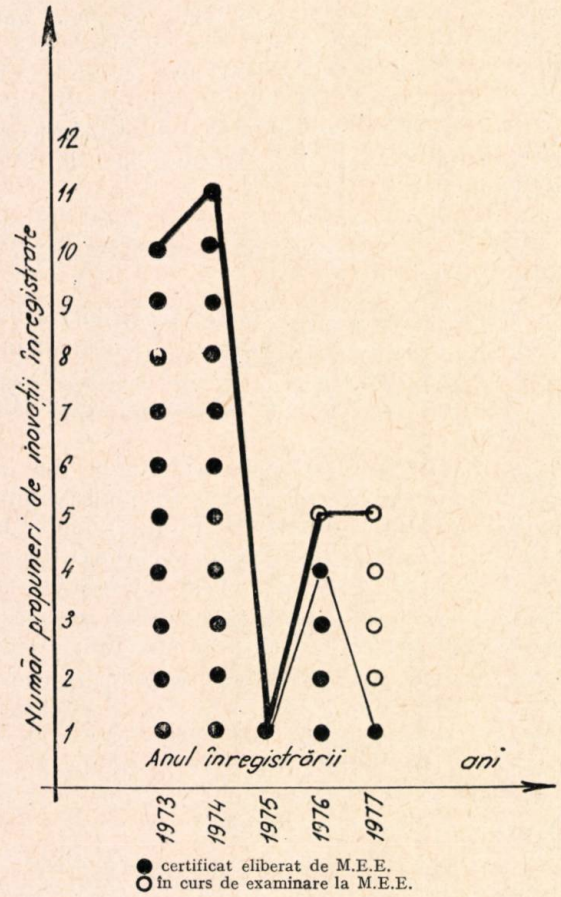


Fig. 4. Stadiul protecţiei propunerilor de inovaţii ICEMENERG la 31 dec. 1977

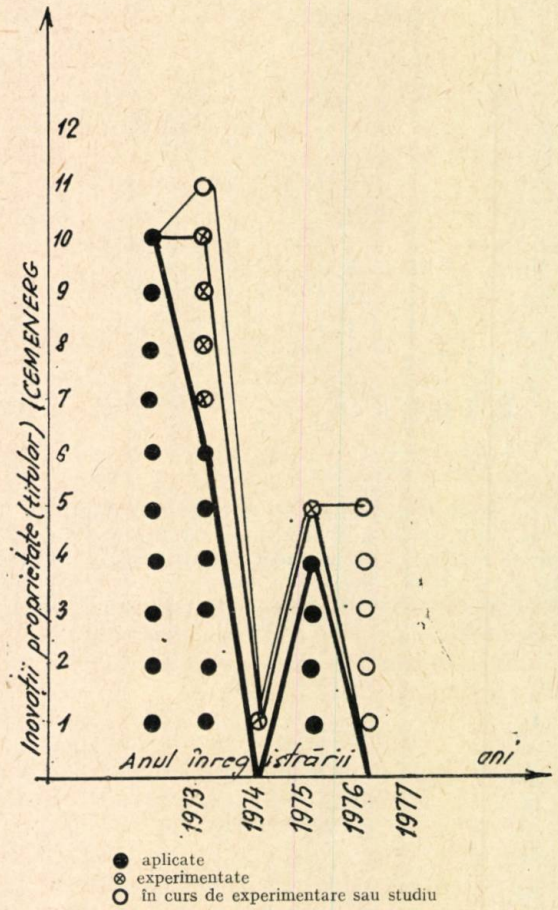


Fig. 5. Stadiul valorificării inovaţiilor ICEMENERG la 31 dec. 1977.

Camerele de stingere sînt concepute pe baza „efectului Coandă". Documentaţiile de brevetare au fost întocmite de ICEMENERG şi transmise prin ROMINVENT în R.F.G., S.U.A., Franţa, Italia, Elveţia şi Suedia, în vederea obţinerii de brevete în aceste ţări.

2. *Opacimetru pentru dispersii neuniforme.* Cerere de brevet nr. 87073, Brevet România nr. 65063, autor: ing. V. Vărzaru.

Documentaţiile au fost întocmite de ICEMENERG şi transmise prin ROMINVENT în R.F.G, S.U.A., Franţa, Austria şi Elveţia, în vederea obţinerii brevetelor.

3. *Vană de inversare cu mai multe căi.* Cerere de brevet nr. 89335, Brevet România nr. 64867, autori : dr. ing. Mihai Pop, ing. Dan Drăgănescu,ing. Dumitru Manea, ing. Const. Popescu şi tehn. I. Croitoru.

Documentaţiile speciale de brevetare au fost de asemenea întocmite de ICEMENERG şi transmise prin ROMINVENT în R.F.G., S.U.A., Japonia şi Canada, în vederea obţinerii brevetelor.

Cu privire la protecţia şi valorificarea inovaţiilor, stadiul acestora este arătat în graficele din figurile 4 şi 5.

Trebuie arătat că inovaţiile, fiind creaţii ştiinţifice şi tehnice care au caracter de noutate pe plan naţional, ar fi necesar ca acestea să fie asimilate cu modelele de utilitate — noţiune de creaţie ştiinţifică şi tehnică prevăzută în Convenţia de la Paris cu privire la proprietatea industrială — şi să fie menţinute sub protecţie cinci ani.

Dintre inovaţiile aplicate sînt de menţionat :

a) *Încălzitor pentru electrozi de sudură.* Certificat nr. 368/1978, autori : tehn. T. Copil, maistru N. Surcel şi tehn. St. Pislicaru.

b) *Modernizarea aparatului pentru determinarea rigidităţii dielectrice a uleiurilor izolante.* Certificat nr. 218/1976, autor : ing. Al. Triţescu.

Studiul, cercetarea şi elaborarea de avize pentru documentaţiile tehnice privind „proprietatea industrială" din ramura energetică în vederea protecţiei şi valorificării lor

În conformitate cu Legea nr. 62/1974 privind invenţiile şi inovaţiile şi cu Decretul nr. 443/1976, institutele centrale de cercetare, academiile de ştiinţe şi institutele de cercetare şi inginerie tehnologică de profil au obligaţia de a primi de la CNST-OSIM şi de la alte organe centrale din R.S.R. documentaţii tehnice privind „proprietatea industrială" (invenţii, licenţe, studii şi note de fundamentare, inovaţii etc.), să le studieze şi să întocmească avize cu recomandări în vederea protecţiei şi valorificării acestora (anexa 3).

ICEMENERG, în calitate şi de Institut central de cercetări energetice (ICCE), a desfăşurat o activitate bogată în sensul arătat mai sus, reprezentată în graficul din figura 6.

Aceste noi sarcini prevăzute pentru ICCE la începutul anului 1975, precum şi numărul mare de documentaţii ce trebuiau studiate şi avizate au dus la început la mari dificultăţi, în special în realizarea unor avize de bună calitate (ceea ce reprezenta, de fapt, problema de fond a acţiunii), care să fie într-adevăr utile examinatorilor de la OSIM în munca lor de caracterizare a soluţiilor brevetabile. De asemenea, avizele trebuiau să fie documente utile şi pentru caracterizarea inovaţiilor de către

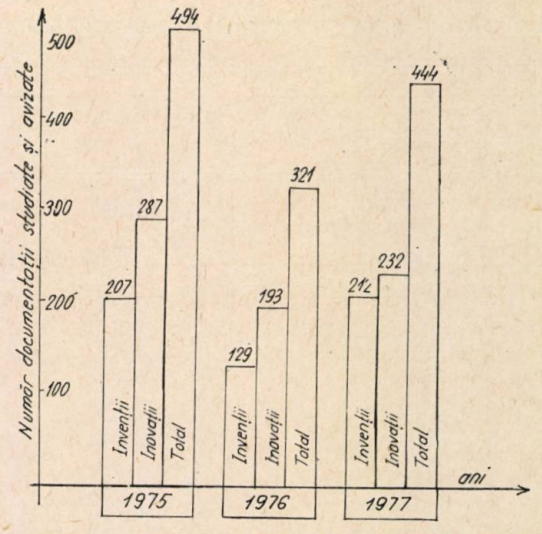


Fig. 6. Evoluţia studierii de către ICCE a creaţiilor ştiinţifice şi tehnice din ramura energetică şi elaborarea avizelor necesare protecţiei şi valorificării (aplicarea Legii 62/1974 şi Decretului 443/1976).

ministere sau alte organe centrale, precum şi pentru restul fazelor de valorificare a acestor creaţii în general, cum sînt : cercetare, proiectare, aplicare, vînzări sau cumpărări de licenţe, recompense, premii etc.

Datorită faptului că la noi în ţară nu au fost predate cursuri privînd „proprietatea industrială" la institutele de învăţămînt superior sau mediu, cercetătorii sau proiectanţii din cadrul ICCE, nefiind specialişti în probleme de protecţie a proprietăţii industriale, capabili să elaboreze puncte de vedere şi recomandări perfecte pentru protecţia şi valorificarea creaţiilor ştiinţifice şi tehnice, a fost necesară o documentare din „mers" pe bază de materiale referitoare la proprietatea industrială. Un prim ajutor a fost dat de CNST-OSIM, care a pus la dispoziţie modele de avize pentru invenţii şi inovaţii.

Această muncă a avut ca efect clarificarea în mare a problemelor de proprietate industrială din partea specialiştilor şi îmbunătăţirea relativă a avizelor.

În anul următor, 1976, s-au ataşat la fiecare documentaţie care era destinată specialistului pentru studiu şi elaborarea avizului două imprimate, şi anume : un model de aviz dat de OSIM şi adaptat la ICCE şi al doilea imprimat (anexa 4), intitulat „Condiţiile de existenţă a unei invenţii brevetabile". În felul acesta calitatea avizelor s-a îmbunătăţit mult.

Avizele elaborate în anul 1977 sînt complet diferite de cele din 1975, atît ca nivel de prezentare, cît mai ales ca ţinută tehnică şi competenţă.

În prezent se poate spune că specialiştii din ICEMENERG sînt de un real folos atît pentru CNST-OSIM, cît şi pentru celelalte organe centrale din ţară, în munca de protecţie şi valorificare a creaţiilor ştiinţifice şi tehnice româneşti din ramura energetică.

ANEXA 1

Situația cererilor de brevete de invenții depuse la oficiile de invenții și a brevetelor acordate în 103 state, în anul 1974, conform datelor OMPI

Cod*	Țara	Cereri de brevete de puse de			Brevete acordate		
		naționali	străini	total	naționali	străini	total
1	2	3	4	5	6	7	8
ZA	Africa de Sud	2 490	5 777	8 237	—	—	5 802
DZ	Algeria	—	447	447	—	—	—
AR	Argentina	1 686	3 703	5 389	1 316	3 198	4 514
AU	Australia	4 300	11 650	15 950	930	11 898	12 838
AT	Austria	2 365	8 039	10 404	1 217	6 775	7 902
BH	Bahrain	—	35	35	—	34	34
BD	Bangladesh	19	226	245	—	—	—
BE	Belgia	1 109	13 619	14 728	1 093	13 559	14 652
BO	Bolivia	29	171	191	16	130	146
BR	Brazilia	3 421	7 515	10 936	—	—	—
BG	Bulgaria [2]	2 336	980	3 316	940	444	1 384
BI	Burundi	—	4	4	—	4	4
CA	Canada	1 812	26 144	27 956	1 368	19 919	21 287
CS	Cehoslovaia [2]	6 124	3 108	9 232	4 739	2 171	6 900
CL	Chile	288	654	942	37	539	576
CY	Cipru	—	59	59	—	59	59
CO	Columbia	50	619	669	—	—	61
KR	Coreea de Sud	1 093	3 362	4 455	227	95	322
CR	Costa Rica	38	179	217	12	51	63
CU	Cuba	97	70	167	5	28	33
DK	Danemarca	835	6 089	6 924	271	2 158	2 429
EC	Ecuador	39	243	282	3	45	48
BG	Egipt	54	538	592	22	376	398
CH	Elveția	5 396	12 033	17 429	3 647	9 323	12 970
FJ	Fiji	1	21	22	1	10	11
PH	Filipine	123	1 249	1 372	76	732	808
FI	Finlanda	986	2 832	3 818	293	966	1 259
FR	Franța	12 706	30 927	43 633	9 282	15 443	24 725
GM	Gambia	—	17	17	—	—17	17
GH	Ghana	—	50	50	—	50	50
GR	Grecia	1 488	1 485	2 973	769	457	1 226
GT	Guatemala	49	176	225	13	149	162
HN	Honduras	1	13	14	1	13	14
IN	India	1 268	2 265	3 533	693	2 902	3 595
ID	Indonezia	1	518	519	—	—	—
JO	Iordania	1	59	60	—	—	—
IR	Iran	130	1 283	1 413	71	1 118	1 189
IQ	Irak	29	107	136	12	125	137
IE	Irlanda	266	2 413	2 679	24	950	974
IS	Islanda	13	55	68	1	53	54
IL	Israel	344	2 094	2 438	215	1 527	1 742
IT	Italia (1972)	7 196	23 630	30 826	4 320	13 180	17 500
YU	Iugoslavia	1 058	2 470	3 528	97	433	530
JM	Jamaica	2	117	119	—	74	74
JP	Japonia	121 509	27 810	149 319	30 873	8 753	39 626
KE	Kenya	—	126	126	—	126	126
KW	Kuwait	4	111	115	—	—	—
LA	Laos	—	13	13	—	13	13
LB	Liban	32	186	218	32	186	218
LY	Libia	3	86	89	—	—	—
LU	Luxemburg	86	2 398	2 484	58	1 842	1 900
MY	Malaysia	4	407	411	2	402	404
MW	Matawi	1	51	52	—	91	91
MT	Malta	1	17	18	1	14	15
GB	Marea Britanie	20 545	36 705	56 250	8 971	28 837	37 808
MA	Maroc	28	337	365	31	297	328
MU	Mauriții	2	21	23	2	22	24
MX	Mexic	—	—	7 452	—	—	3 940
MC	Monaco	5	41	46	6	44	40
NI	Nicaragua	—	128	128	2	11	13
NG	Nigeria	10	352	362	—	—	—
NO	Norvegia	741	3 985	4 726	279	2 161	2 440
NZ	Noua Zeelandă	908	2 418	3 326	—	—	—
OA	OAPI **)	15	275	290	10	284	294
NL	Olanda	2 096	14 966	17 062	423	2 963	3 386
PK	Pakistan	23	542	565	40	772	812
PA	Panama	—	—	163	—	—	157

*) Codul ST. 8 ICIREPAT, folosit în documentele OMPI.

**) Fac parte din OAPI : Benin, Camerun, Congo, Coasta de Fildeș, Gabon, Impeiul Centrafrican, Volta Superioară, Mauritania, Niger, Senegal, Ciad, Togo.

(Continuare anexa 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
PL	Polonia	6 672	2 558	9 230	5 603	1 041	6 644
PT	Portugalia	54	1 503	1 557	51	1 054	1 105
DD	R.D.G.	4 513	3 074	7 587	4 335	3 636	7 971
DE	R.F.G.	30 534	33 011	63 545	9 793	10 746	20 539
RH	Rhodesia de Sud	68	418	486	69	366	435
RO	România	2 521	1 325	3846	965	559	1 524
RW	Rwanda	—	2	2	—	2	2
SL	Sierra Leone	—	26	26	—	26	26
SY	Siria	4	84	88	4	84	88
SO	Somalia	—	8	8	—	8	8
ES	Spania	2 036	9 506	11 542	1 436	4 328	6 764
LK	Sri Lanka	48	133	181	—	—	—
US	S.U.A.	64 093	38 445	102 538	50 643	25 632	76 275
SE	Suedia	4 460	11 933	16 393	1 870	7556	9 426
SZ	Swaziland	—	11	11	—	11	11
TT	Trinidad-Tobago	1	145	146	1	145	146
TN	Tunisia	43	178	221	50	337	387
TR	Turcia	92	571	663	15	231	246
UG	Uganda	—	56	56	—	56	56
HU	Ungaria	1 184	2 033	3 217	588	1 276	1 864
SU	U.R.S.S.S. *)	100 585	5 680	106 265	41 070	1 974	43 044
UY	Uruguay	95	186	281	18	124	142
VE	Venezuela	241	1 737	1 978	208	1 633	1 841
ZR	Zair	1	122	123	1	122	123
ZM	Zambia	1	175	176	1	203	204
		422 493	379 940	810 048	189 152	217 973	417 085

*) În Bulgaria, Cehoslovacia și U.R.S.S. se acordă, pe lîngă brevete de invenții, certificate de autor ca titluri de protecție a invențiilor.

ANEXA 2

Lista actelor normative interne și a convențiilor internaționale privind protecția proprietății intelectuale

(Partea ce revine CNST—OSIM „Protecția proprietății industriale")

A. Acte normative interne

1) 28/1967 Lege privind mărcile de fabrică, de comerț și de servicii. Buletinul Oficial al R.S.R. nr. 114 din 29.12.1967.

2) 77/1968 Hotărîrea Consiliului de Miniștri pentru aplicarea Legii nr. 28/1967 privind mărcile de fabrică, de comerț și servicii. Buletinul Oficial nr. 8 din 27.01.1968.

3) 1175/1968 Decret privind ratificarea Convenției pentru instituirea Organizației Mondiale a Proprietății Intelectuale (OMPI). Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.

4) 1176/1968 Decret pentru ratificarea Aranjamentului de la Madrid privind înregistrarea internațională a mărcilor de produse, de servicii, de comerț, în forma revizuită la Stockholm la 14 iulie 1967. Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.

5) 1177/1968 Decret privind ratificarea Convenției de la Paris pentru „protecția proprietății industriale", în forma revizuită la Stockholm la 14 iulie 1967. Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.

6) 62/1974 Lege privind invențiile și inovațiile. Buletinul Oficial nr. 137 din 2.11.1974.

7) 93/1976 Decret al Consiliului de Stat privind normele pentru calcularea recompenselor bănești cuvenite autorilor invențiilor aplicate în economia națională. Buletinul Oficial nr. 38 din 27.04.1976.

8) 363/1976 Decret al Consiliului de Stat privind taxele pentru cererile de brevete de invenții și pentru brevetele de invenții acordate. Buletinul Oficial nr. 102 din 16.11.1976.

9) 443/1976 Decret al Consiliului de Stat cu privire la mai buna valorificare a concepției științifice și tehnice proprii, a licențelor achiziționate și condițiile de aprobare a solicitărilor din import. Buletinul Oficial nr. 117/1976.

10) 34/1977 Ordin CNST-MF privind aprobarea mărimii recompenselor bănești pentru invențiile aplicate în economie.

În curs de elaborare

— Act normativ privind protecția desenlor și modelelor industriale.
— Act normativ privind protecia denumirilor de origine și indicațiilor de proveniență.

B. Acorduri și convenții internaționale

1) Convenție pentru instituirea Organizației Mondiale a Proprietății Intelectuale (OMPI). Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.
2) Convenția de la Paris pentru protecția proprietății industriale din 20 martie 1883. Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.
3) Aranjamentul de la Madrid privind înregistrarea internațională a mărcilor de fabrică, de serviciu și de comerț. Buletinul Oficial nr. 1 din 6.01.1969.
4) Acord privind protecția juridică a invențiilor, modelelor industriale, modelelor de utilitate și a mărcilor de fabrică realizate în cadrul colaborării economice și tehnico-științifice a CAER. Buletinul Oficial nr. 101 din 11.07.1973.

C. Alte convenții internaționale administrate de ONU-OMPI

5) Aranjamentul de la Haga privind depozitarea internațională a desenelor și modelelor industriale (modelele sînt tridimensionale) din 1925.

6) Aranjamentul de la Nisa privind clasificarea internațională a produselor și serviciilor în scopul înregistrării mărcilor 1957.
7) Aranjamentul de la Lisabona privind protecția denumirilor de origine și înregistrarea lor internațională, 1958.
8) Convenția internațională pentru protecția noilor produse vegetale de la Paris, 1961.
9) Aranjamentul de la Locarno privind clasificarea internațională pentru desenele și modelele industriale, 1968.
10) Tratatul de cooperare în domeniul brevetelor de invenții de la Washington, 1970 (intrat în vigoare la 1 iunie 1978).
11) Aranjamentul de la Strassbourg privind clasificarea internațională a brevetelor de invenții, 1971.
12) Tratatul de la Viena privind înregistrarea internațională a mărcilor, 1973.
13) Acordul privind înființarea Centrului Internațional de Documentare din Brevetele de Invenții (INPADOC) încheiat între OMPI și Guvernul Austriac 1975 (Sediul la Viena); posedă toate brevetele pe care le-a elaborat omenirea pînă în prezent și sînt clasificate după clasificarea internațională de la pct. 11); furnizează informații documentare pe bază de calculator.
14) Acordul privind înființarea Comitetului Uniunii de la Paris pentru cooperarea internațională în materie de cercetare documentară între oficiile naționale de brevete, 1975.
15) Reglementarea descoperirilor științifice (Proiect de tratat la Biroul OMPI).
16) Protecția juridică a programelor ordinatoarelor (Proiect de tratat la Biroul OMPI).

D. Convenții internaționale neadministrate de ONU-OMPI

17) Acordul de la Haga pentru înființarea Institutului Internațional de Brevete, 1947.
18) Convenția europeană asupra clasificării internaționale de brevete, 1954.
19) Convenția europeană privind cererile de brevete europene (tipizarea formularelor), München 1973 (valabilă în țările Pieței Comune).
20) Convenția europeană asupra eliberării de brevete europene, München 1973 (valabilă în țările Pieței Comune, intrată în vigoare la 1 iunie 1978).

ANEXA 3

Lista sarcinilor prevăzute de legislația în vigoare pentru institutele centrale de cercetare, academiile de științe sau institutele de cercetare-proiectare de profil, de a aviza documentațiile tehnice privind „proprietatea industrială" (invenții, licențe, studii sau note de fundamentare, inovații etc.) în vederea protecției și valorificării acestora

1. Legea Nr. 62/1974 privind invențiile și inovațiile

A. *Pentru invenții*

Art. 22. Brevetul de invenție se acordă de Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci, în urma examinării cererii din punct de vedere al îndeplinirii condițiilor pentru existența unei invenții brevetabile, pe baza avizului institutelor centrale de cercetare, al academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil. Avizul se comunică Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci în termen de 30 zile de la primirea documentației necesare pentru brevetare.

Art. 27. Cercetarea, experimentarea și aplicarea invențiilor se face de către organizațiile socialiste, prin includerea în planurile proprii sau în planul național unic de dezvoltare socială, pe baza unui studiu de fundamentare tehnico-economică avizat de institutele centrale de cercetare, academiile de științe sau institutele de cercetare-proiectare de profil.

Aplicarea și generalizarea unei invenții experimentate și verificate în industrie sau în alte sectoare ale economiei naționale, cu scopul de a înlocui sau perfecționa linii și procese tehnologice, instalații, aparate sau alte produse, se vor face numai pe baza unui studiu tehnico-economic (STE), cu avizul institutului central de cercetare, academiei de științe sau organului central, cu acordul Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie.

Art. 30. Brevetarea invențiilor românești în alte țări se face de către Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci, prin Camera de Comerț și Industrie a R.S.R., cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil, cu respectarea condițiilor prevăzute în prezenta lege.

Cheltuielile pentru brevetarea invențiilor românești în alte state și pentru menținerea în vigoare a acestora se suportă din fondul valutar centralizat de Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci și se efectuează prin Camera de Comerț și Industrie a R.S.R.

Art. 32. Valorificarea invențiilor românești în alte state se face prin întreprinderile de comerț exterior, la propunerea titularilor de brevete cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil, prin export de produse, instalații și tehnologii, schimb reciproc de licențe și prin cooperare, cu respectarea prevederilor legale.

Art. 33. Valorificarea invențiilor străine în Republica Socialistă România (cumpărare de licențe) se face prin întreprinderile de comerț exterior, cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil, cu acordul organului central beneficiar.

Art. 37. Autorii invențiilor aplicate în economia națională sînt recompensați moral și material prin: acordarea de titluri științifice, ordine și medalii, grade profesionale, promovarea în mod excepțional în funcție, acordarea de premii și recompense bănești stabilite în funcție de avantajele economice și sociale postcalculate.

Recompensele bănești se calculează pentru fiecare invenție în parte, pe bază de norme aprobate de Consiliul de Miniștri (Decretul nr. 93/1976), la propunerea Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, a Ministerului de Finanțe și Ministerului Muncii.

Mărimea recompensei ce urmează să fie plătită pentru fiecare invenție se aprobă de CNST și M.F. la propunerea organizației socialiste titulară de brevet, cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau organului central tutelar.

Art. 48. Drepturile care decurg din brevetul de invenție încetează la expirarea duratei de protecție a invenției sau prin renunțarea titularului de brevet.

Organizațiile socialiste din Republica Socialistă România pot renunța la drepturile decurgînd din calitatea de titular al brevetului de invenție numai cu avizul institutului central de cercetări, academiei de științe sau organului central. Renunțarea produce efecte de la data înregistrării cererii de renunțare la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci.

B. *Pentru Inovații*

Art. 70. Ministerul sau organul tutelar central care a primit propunerea de inovație are obligația ca, în termen de cel mult 2 luni de la primirea propunerii, să o examineze din punct de vedere tehnic și economic și să ceară confirmarea noutății pe plan național și a oportunității aplicării institutului central de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil.

Art. 72. Hotărîrea privind proiectarea, experimentarea și aplicarea unei inovații se adoptă de organul de conducere colectivă al unității care aplică, cu acordul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-proiectare de profil, pe baza fundamentării eficienței tehnico-economice, în termen de cel mult 6 luni de la înregistrarea propunerii.

Art. 73. Pentru inovațiile care prezintă o importanță deosebită din punct de vedere economic sau social, la propunerea organizațiilor socialiste unde s-a aplicat, ministerele tutelare pot să aprobe cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe sau institutelor de cercetare-

proiectare de profil, o premiere echivalentă cu cuantumul a cel mult de trei ori retribuția tarifară lunară a inovatorului, conform prevederilor legale, pentru primul an de aplicare, indiferent de numărul inovațiilor aplicate în acel an.

II. Decretul Nr. 443/1976 cu privire la mai buna valorificare a concepției tehnico-științifice proprii, a licențelor achiziționate și condițiile de aprobare a solicitărilor din import

Art. 9. Ministerele, celelalte organe centrale, comitetele executive ale consiliilor populare județene și al Municipiului București sînt obligate să asigure ca toate notele de comandă-contract pentru utilajele tehnologice necesare obiectivelor de investiții, precum și cererile de import, să fie examinate și avizate de institutele centrale, academiile de științe și unitățile de cercetare și inginerie tehnologică.

Institutele centrale de cercetare, academiile de științe și unitățile de cercetare și inginerie tehnologică sînt obligate să examineze, în cadrul organului de conducere colectivă, posibilitatea realizării în țară a produselor solicitate, să propună utilizarea unor produse similare sau a unor înlocuitori ai acestora, stabilind condițiile și termenele de execuție.

Art. 16. Nota de fundamentare prevăzută la art. 15 lit. a) se aprobă de conducerea organelor centrale care au elaborat-o, cu avizul institutelor centrale de cercetare, academiilor de științe și al unităților de cercetare și inginerie tehnologică în profilul cărora intră obiectul licenței. Inscrierea în plan se poate face numai cu avizul Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie.

Art. 17. Nota de comandă-contract prevăzută la art. 15 (lit. b) se întocmește de către ministere și celelalte organe beneficiare de licență, cu avizul institutelor centrale sau al unităților de cercetare și inginerie tehnologică în profilul cărora intră obiectul licenței, precum și al Ministerului Comerțului Exterior și Cooperării Economice Internaționale, Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, Comitetului de Stat al Planificării și Ministerului Aprovizionării Tehnico-Materiale și Controlului Gospodăririi Fondurilor Fixe și se aprobă de Consiliul de Miniștri.

Art. 18. Nota de comandă-contract privind importul pentru investiții pe obiective, prin care se are în vedere procurarea de licențe tehnologice, se avizează de către institutele centrale de cercetare sau unitățile de cercetare și inginerie tehnologică în profilul cărora intră obiectul licenței, precum și de către Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie și se aprobă de Consiliul de Miniștri.

Art. 22. În vederea menținerii la nivel competitiv a produselor și procedeelor tehnologice pentru care s-a obținut licența, a îmbunătățirii caracteristicilor și performanțelor acestora și a extinderii folosirii lor, Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie, ministerele și celelalte organe centrale vor asigura, prin unitățile beneficiare și unitățile de cercetare și inginerie tehnologică, perfecționarea și dezvoltarea obiectului licenței, luînd măsurile necesare pentru obținerea și conservarea dreptului de proprietate industrială.

Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie va controla activitatea de utilizare și dezvoltare a licențelor.

Art. 25. Hotărîrea în legătură cu posibilitatea fabricării produselor solicitate, prevăzută la art. 8, și avizul prevăzut la art. 9 din prezentul decret vor fi date în termen de maximum 10 zile de la primirea solicitării.

ANEXA 4

Condițiile de existență a unei invenții brevetabile

A. Generalități

a) Constituie invenție, în înțelesul prezentei legi, creația științifică sau tehnică care prezintă noutate și progres față de stadiul cunoscut al tehnicii mondiale, care nu a mai fost brevetată sau făcută publică în țară sau în străinătate, reprezintă o soluție tehnică și poate fi aplicată pentru rezolvarea unor probleme din economie, știință, ocrotirea sănătății, apărarea națională sau în orice alt domeniu al vieții economice și sociale (Legea nr. 62/1974 privind invențiile și inovațiile, art. 10).

b) Invențiile care contravin legilor, regulilor de conviețuire socialistă sau care prin aplicarea lor ar afecta negativ dezvoltarea societății nu sînt invenții brevetabile (Legea nr. 62/1974 privind invențiile și inovațiile, art. 12).

c) Nu se încadrează în definiția invenției acele invenții la care toate elementele soluției sînt acoperite de materialul documentar cu care se compară.

d) Nu se încadrează, de asemenea, în definiția invenției invențiile la care, deși conțin elemente diferite de cele întîlnite în materialul documentar consultat, se apreciază că efectele ce se pot obține prin aplicare sînt net inferioare în raport cu efectele soluției cu care se compară.

B. Potrivit definiției dată de Legea nr 62/1974, condițiile de existență a unei invenții brevetabile sînt:

I. *Să constituie o creație științifică sau tehnică,* implicînd:

a) contribuție originală;
b) existența unei idei inventive;
c) aport creator etc.

II. *Să fie nouă față de stadiul cunoscut al tehnicii mondiale,* adică:

a) nu a mai fost brevetată de nici o țară;
b) nu a fost făcută publică (în cărți, reviste, rapoarte la congrese etc.);
c) se consideră că se încadrează în definiția invenției și au caracter de noutate invențiile care, în comparație cu soluțiile cunoscute pentru aceeași problemă, conțin elemente similare care prezintă deosebiri mici față de elementele soluțiilor cunoscute, dar care prin aplicare dau fie efecte noi, neașteptate (surprinzătoare), fie efecte mult superioare în raport cu efectele date de soluțiile cunoscute cu care se compară. Invențiile care conțin soluții bazate pe elemente care conțin deosebiri mici față de elementele soluțiilor cunoscute, dar care dau efecte noi în aplicare, neașteptate (surprinzătoare), fie efecte cunoscute, însă mult superioare efectelor soluțiilor cu care se compară, pot fi grupate în mai multe categorii, „spețe" după cum urmează:

1. Invenții la care noutatea constă în asocierea a două sau mai multe soluții cunoscute.

2. Invenții la care noutatea constă în modificarea formei unor elemente componente ale unui obiect cunoscut, însoțite sau nu de modificarea poziției anumitor elemente.

3. Invenții la care noutatea constă în modificarea dimensiunilor unui obiect cunoscut.

4. Invenții la care noutatea constă într-o nouă folosire a unui produs cunoscut sau a unei metode cunoscute, fie într-un alt caz particular din același domeniu, fie într-un caz particular din alt domeniu.

5. Invenții la care noutatea constă în înlocuirea unui material folosit în alcătuirea unui produs cunoscut sau folosit într-un procedeu de fabricație cunoscut, cu un alt material cunoscut.

6. Invenții la care noutatea constă în înlocuirea unui dispozitiv, mașină, instalație etc., a unui organ care îndeplinește o anumită funcție cu un altul, cunoscut, care îndeplinește o funcție echivalentă.

7. Invenții la care noutatea constă în modificarea compoziției chimice a unui produs sau în modificarea proporțiilor în care intră materialele din care se compune un anumit produs cunoscut.

8. Invenții la care noutatea constă în modificarea parametrilor tehnologici într-un procedeu de fabricație cunoscut (temperatură, presiune, granulație, pH etc.).

9. Invenții la care noutatea constă în modificarea ordinii în care se succed fazele unui procedeu tehnologic cunoscut.

10. Invenții la care noutatea constă într-o simplificare constructivă adusă unui produs, sau într-o simplificare obținută prin eliminarea unor faze ale unui procedeu de fabricație cunoscut.

11. Invenții la care noutatea constă în modificări aduse schemei electrice, schemei electronice a unui produs sau a unei instalații cunoscute.

III. **Să constituie un progres tehnic în raport cu soluțiile anterioare din stadiul cunoscut al tehnicii,** cum ar fi:

a) mărirea preciziei, stabilității și sensibilității unui aparat, utilaj sau instalație;
b) puritatea unui produs chimic sau medicamentos;
c) îmbunătățirea proprietăților unui material;
d) mărirea randamentului unui procedeu tehnologic;
e) îmbunătățirea calității unui produs;
f) mărirea productivității unui utilaj;
g) mecanizarea sau automatizarea executării unei operații etc.

IV. Să reprezinte o soluție tehnică, adică: „Să rezolve complet și efectiv (concret) o problemă tehnică dată din economie, știință, ocrotirea sănătății, apărarea națională sau din orice alt domeniu al vieții economice și sociale.

V. Să fie aplicabilă pe cale industrială (utilă societății). Caracterul aplicativ industrial trebuie privit nu numai prin posibilitatea de realizare practică în momentul brevetării, ci și prin posibilitatea în perspectivă de realizare în viitor.

Bibliografie

[1] Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la Conferința pe țară a inginerilor și tehnicienilor, 19 martie 1972.* În: „România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate", vol. VII. Editura politică, București, 1973, p. 325—346.

[2] Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la Plenara Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, 27 aprilie 1974.* În: „Romă ia pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate", vol. X. Editura politică, București, 1974, p. 148—155.

[3] Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la Conferința națională a cercetării științifice și proiectării, 25 oct. 1974.* În: „România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate", vol. X. Editura politică, București, 1974, p. 917—949.

[4] Nicolae Ceaușescu. *Cuvîntare la încheierea lucrărilor Consfătuirii cu activul de partid și de stat din domeniul comerțului exterior și cooperării internaționale, 14 febr. 1975.* În: „România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate", vol. XI. Editura politică, București, 1975, p. 198—243

[5] Nicolae Ceaușescu. *Cuvînt cu prilejul primirii delegației Institutului din Paris pentru problemele unei noi ordini economice internaționale, 5 dec. 1975.* În: „România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate", vol. XII. Editura politică, București, 1976, p. 249—253.

[6] Banc Cecilia. *Analiza brevetabilității invențiilor cu caracter special.* În: Invenții și inovații nr. 9, 1972.

[7] Bertain, A. *Le secret en matière d'inventions.* Paris.

[8] Bouju, A. *La protection des inventions aux Etats-Unis.* Eyrolles, Paris.

[9] Cameniță, I. și Bădărău, Al. *Durata protecției juridice a invențiilor asigurată prin brevetul de invenții.* În: Invenții și inovații nr. 3, 1973.

[10] Casalonga, A. *Traité technique et pratique des brevets d'inventions,* vol. I, II și III. Librairie générale de droit, Paris, 1949.

[11] Ciontu Maria. *Purtători de informații folosiți în operațiile de mecanizare a documentării din brevete.* În: Invenții și inovații, nr. 5, 1972.

[12] Costinescu Veronica. *Sursele de informare secundare ale literaturii de brevete.* În: Invenții și inovații nr. 3, 1973.

[13] Devant, P. ș.a. *Brevets d'inventions.* Librairie Dalooz, Paris, 1971.

[14] Erhan, V. *Literatura de brevete de invenții din Elveția.* În: Invenții și inovații nr. 5, 1973.

[15] Fleischitz, E. A. *Patentnoe zakonodatelstvo zarubejnih stran,* vol. I și II. Izd. „Progres", Moscova, 1964.

[16] Gheorghiu, M. *Protecția desenelor sau modelelor industriale. Incidența dintre invenții și desene sau modele industriale.* În: Invenții și inovații nr. 3, 1975.

[17] Ionașcu, A. și col. *Dreptul de autor în R.S.R.* Ed. Acad. R.S.R., București, 1969.

[18] Kelber, G. *Patentrecht und Erfinder-Recht,* vol. I și II, Hamburg.

[19] Marinete, L. *Apariția și dezvoltarea sistemului de protecție a invențiilor prin brevete* (istoric). În: Invenții și inovații nr. 8, 1973.

[20] Munteanu, S. *Examinarea cererii de brevet din punct de vedere al condițiilor pentru constituirea depozitului reglementar.* În: Invenții și inovații nr. 6, 1973.

[21] Negulescu, D. *Caracterul și poziția normelor de drept unional față de legislația națională a statelor membre ale Convenției de la Paris.* În: Invenții și inovații nr. 6, 1973.

[22] Niculescu, V. *Oferta tehnico-economică, instrument de valorificare a invențiilor în străinătate sub formă de licență.* În: Invenții și inovații nr. 1, 1973.

[23] * * * OMPI. *Guide pour l'enregistrement international des marques.* Geneva, 1975.

[24] Stătescu, C. *Drept civil. Drepturile de creație intelectuală.* Editura didactică și pedagogică, București, 1967.

[25] Ștefan Rodica. *Energia atomică și dreptul de brevetare.* În: Invenții și inovații nr. 7, 1973.

[26] Ștefănescu, I. și Pițu Dalila. *Examinarea de fond a mărcilor de fabrică, de comerț și de serviciu asupra îndeplinirii condițiilor prevăzute de Legea nr. 28/1967.* În: Invenții și inovații nr. 4, 1973.

[27] Rönitz, P. *Spionajul economic.* Editura militară, București, 1976.

[28] Teodorescu, P. *Folosirea de către întreprinderi a mărcilor de fabrică, de comerț și de serviciu.* În: Invenții și inovații nr. 2, 1976.

[29] Vrabie, E. și Teodorescu, P. *Conferința diplomatică de la Viena asupra proprietății industriale.* În: Invenții și inovații nr. 10, 1973.

[30] Cameniță, I. *Protecția invențiilor prin brevete.* Editura Academiei R.S.R., București, 1977.

A șasea Consfătuire a termoenergeticienilor

A șasea Consfătuire a termoenergeticienilor, organizată de Comisia de termoenergetică a Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor, Ministerul Industriei Chimice, Ministerul Energiei Electrice și Consiliul Popular al județului Vîlcea, care s-a desfășurat în perioada 15—17 decembrie 1977 la Rîmnicu-Vîlcea, a avut ca temă : „Utilizarea rațională a energiei primare în procesele industriale și de încălzire".

Continuînd tradiția de analiză a problemelor termoenergetice actuale, specifice platformelor industriale din țara noastră, consfătuirea s-a axat pe dezbaterea problematicii termoenergetice specifice industriei chimice. În acest context au fost relevate probleme concrete ale platformei industriale care cuprinde combinatele chimice Rîmnicu-Vîlcea — Govora, precum și a altor platforme importante cu profil asemănător din țară, subliniindu-se, atît în referatele prezentate cît și în discuțiile purtate, căi practice pentru generalizarea celor mai bune soluții de economisire a energiei.

De asemenea, consfătuirea a dezbătut și probleme termoenergetice cu caracter general, legate de tematica propusă.

Cadrul corespunzător examinării celor două grupe de probleme menționate a fost asigurat prin organizarea lucrărilor consfătuirii în două secții, și anume :

Secția I. *Probleme termoenergetice specifice industriei chimice.*

Secția II. *Probleme termoenergetice generale.*

Dezbaterile care au avut loc în cele două secții pe marginea celor 35 de referate prezentate, cît și asupra aspectelor semnalate în vizita tehnică de lucru în instalațiile Combinatului chimic Rîmnicu-Vîlcea, au evidențiat necesitatea unor indicații privind soluționarea problemelor evidențiate, indicații dintre care menționăm :

— intensificarea eforturilor în direcția antrenării ICPET și ICEMENERG în rezolvarea problemei utilizării păcurii cu sulf în procesele industriale ;

— lărgirea gamei arzătoarelor de păcură cu sulf concepute de ICPET pentru a fi folosite în focarele industriei chimice ;

— realizarea instalațiilor-pilot pentru arderea deșeurilor toxice și corosive în focare sub presiune cu recuperarea căldurii gazelor arse cu conținut mare de praf ;

— diversificarea sortimentului de cazane recuperatoare sau preîncălzitoare de aer de combustie, specifice industriei chimice ;

— organizarea activităților destinate efectuării bilanțurilor reale în industria chimică și modernizarea pe bază de încercări și proiecte proprii a agregatelor energotehnologice în industria chimică ;

— diversificarea sortimentului de turbine cu priză, contrapresiune, condensație și reinjecție de abur pentru antrenarea turbocompresoarelor și turbompompelor din uzinele chimice ;

— elaborarea unei metodologii de elaborare a bilanțurilor energetice în cadrul bilanțurilor de proiect în industria chimică și efectuarea pe calculator a bilanțurilor energetice globale anuale ale platformelor industriei chimice ;

— extinderea folosirii apei fierbinți ca fluid de încălzire tehnologică în procese chimice ;

— producerea frigului tehnologic cu ajutorul resurselor energetice secundare ;

— recuperarea gazelor eșapate în atmosferă în perioadele de pornire a instalațiilor de amoniac și metanol ;

— proiectarea unor arzătoare speciale de ardere pentru oxid de carbon, hidrogen și gaze de faclă cu putere calorică variabilă ;

— aplicarea pe scară largă în țara noastră a alimentării centralizate cu căldură, cu folosirea producerii combinate a energiei electrice și a căldurii, soluție tehnică care reprezintă o contribuție deosebit de importantă la reducerea consumului de energie primară. Perfecționările tehnologice ale sistemelor realizate sau ce se vor realiza în viitor, prin îmbunătățirea exploatării (cu considerarea fenomenelor tranzitorii, aplicarea soluțiilor optime de reglare, conducerea prin dispecer etc.) sau prin considerarea resurselor energetice secundare, vor mări în continuare eficiența acestui procedeu ;

— perfecționarea proceselor de ardere în instalațiile tehnologice prin realizarea tipurilor noi de arzătoare, adaptate atît cerințelor tehnologice cît și condițiilor de eficiență energetică, care se impune a fi extinsă pe baza rezultatelor obținute pînă în prezent de cercetătorii din sectorul industriei metalurgice ;

— extinderea producerii combinate de energie electrică și căldură în marile centrale termoelectrice ale sistemului energetic național, reprezentînd principala cale de diminuare a căldurii evacuate în mediul ambiant de aceste instalații și, ca urmare, soluțiile de transformare a grupurilor mari cu condensație în grupuri de termoficare sau de utilizare a fascicolelor înglobate în condensatoare trebuind să fie aplicate în toate cazurile în care condițiile justifică adoptarea acestor soluții ;

— datorită faptului că nu comportă condiții grele în ceea ce privește nivelul energetic al căldurii necesar a fi asigurate, pompele de căldură reprezintă unul din domeniile cu cele mai mari perspective pentru utilizarea căldurii-deșeu de potențial termic scăzut. Realizarea în practică a soluțiilor cu pompe de căldură — începută în cursul anului acesta — trebuie să fie extinsă prin eforturile conjugate ale energeticienilor din industrie și din sistemul energetic național, asistați în mod eficient de specialiști din cadrul industriei constructoare de mașini ;

— diminuarea la maximum a pierderilor de căldură prin perfecționarea soluțiilor de izolare și încălzire a construcțiilor prin izolări mai eficiente față de mediul exterior, evitarea dispersiei de căldură, conservarea căldurii în spațiile încălzite ;

— extinderea soluțiilor de utilizare rațională a energiei primare prin racordarea la sistemele de termoficare aflate în funcțiune a centralelor termice existente cu randamente coborîte care utilizează gaze sau combustibil lichid de calorifer.

În vederea utilizării mai intense a cărbunilor în procesele de producere combinată a energiei electrice și căldurii, se vor intensifica eforturile legate de rezolvarea cît mai eficientă a problemelor privind transportul la mari distanțe al căldurii, prin perfecționarea concepției, schemelor, soluțiilor și materialelor utilizate în realizarea sistemelor de termoficare.

*

La lucrările conferinței a participat un număr important de ingineri și tehnicieni care își desfășoară activitatea în domeniul termoenergeticii, reprezentînd activitățile de producție, proiectare, cercetare și învățămînt.

Consfătuirea a recomandat termoenergeticienilor aplicarea în cadrul unităților economice a tuturor propunerilor rezultate din dezbaterile ce au avut loc, pentru obținerea pe această bază a unor noi și importante cantități de combustibil economisit.

Prof. dr. ing. **Nicolae Dănilă,**
președintele Comisiei de termoenergetică C.N.I.T.,
și ing. **Nicolae Niculescu**

Recenzii

N. PĂNOIU, C. CAZACU, I. GH. CARABOGDAN și C. CRĂCIUNEANU. **Valorificarea prin ardere a combustibililor inferiori (solizi).** Editura tehnică, București, 1978, 352 p., 214 ref. bibl.

Cartea cuprinde o prezentare succintă și la zi a aspectelor principale aferente arderii combustibililor solizi inferiori. Lucrarea este împărțită în 6 capitole, însoțite de numeroase ilustrații și referințe bibliografice.

Capitolul I: „Cîteva considerații asupra poziției combustibililor solizi inferiori în structura actuală a balanței de energie primară", cuprinde o prezentare succintă a situației actuale a rezervelor de combustibili și a modului de asigurare a consumului de energie primară pe plan mondial, în prezent și în viitor.

Capitolul II: „Probleme specifice ale arderii combustibililor inferiori", constituie o introducere în problemele particulare ale arderii combustibililor solizi inferiori. Astfel, se prezintă caracteristicile combustibililor solizi, criteriile de clasificare a acestora, comportarea la măcinare a cărbunilor, comportarea zgurii și cenușii rezultate din arderea cărbunilor, viteza de desfășurare a procesului de ardere a particulelor de combustibil solid, aspectele specifice ale procesului de ardere a amestecului aer-praf de cărbune și modul în care se manifectă influența caracteristicilor energetice asupra procesului de ardere.

Capitolul III: „Instalații de pregătire a combustibililor solizi în vederea arderii", studiază aspecte importante ale acestei operații. După prezentarea problemelor aferente clasării cărbunilor și reducerii conținutului de steril, este tratată uscarea și deshidratarea cărbunilor. În continuare sînt prezentate succint elemente referitoare la procesul de brichetare a cărbunilor și la procesul de gazeificare a acestora. De asemenea se dau schemele instalațiilor de preparare a prafului de cărbune, care echipează centralele termoelectrice, expunîndu-se și elementele care sînt de luat în considerare la adoptarea unei scheme de preparare a prafului de cărbune. Un spațiu important este afectat calculului debitului și puterii morilor de cărbune, prezentîndu-se și aspecte legate de cercetarea pe model a morilor și calculul separatoarelor și canalelor pentru transportul prafului de cărbune. Capitolul continuă cu o expunere a modului în care calitatea combustibilului solid influențează funcționarea instalației de preparare a prafului, urmată de prezentarea modului în care funcționarea instalației de preparare a prafului este influențată de regimul de exploatare. Expunerea continuă cu prezentarea aspectelor legate de uzura elementelor de măcinare ale morilor. În încheierea capitolului sînt prezentate date referitoare la aspectele regimului dinamic al morilor.

Capitolul IV: „Metode și instalații de ardere în strat a combustibililor solizi inferiori", tratează aspectele tehnice și, într-o măsură ceva mai scăzută, aspectele economice ale instalațiilor pentru arderea în strat a cărbunilor inferiori. Acest capitol începe cu prezentarea particularităților procesului de ardere în strat a ligniților românești. Urmează descrierea aspectelor funcționale și constructive ale grătarelor mecanice. În încheiere sînt prezentate succint focarele pentru arderea cărbunilor cu conținut ridicat de praf și instalațiile de ardere în strat pentru debite mici.

Capitolul V: „Metode și instalații de ardere în stare pulverizată a combustibililor solizi inferiori", tratează aspectele tehnice, constructive, de exploatare și economice ale instalațiilor de ardere în stare pulverizată a cărbunilor. Referirile se fac atît la instalații mici cît și la cele mai mari instalații aflate în funcțiune în prezent. Capitolul începe cu prezentarea tipurilor de arzătoare destinate arderii prafului de cărbune de calitate inferioară. În continuare sînt analizate focarele pentru arderea în stare pulverizată a combustibililor solizi, însoțit de un volum important de exemple luate din instalațiile aflate în funcțiune în țară și în Europa. Sînt prezentate apoi focarele pentru arderea combustibililor solizi inferiori pulverizați cu evacuarea zgurii în stare lichidă și focarele pentru arderea intensificată a combustibililor solizi (focare-ciclon, focare turbionare, focare rotaționale și focare cu ardere în strat fluidizat), cu referiri la problemele ridicate de cărbunii inferiori românești. În încheierea capitolului este examinată influența calității combustibilului asupra construcției focarului (caracteristici constructive și funcționale, particularitățile combustibililor solizi inferiori din R.S.R., eroziunea suprafețelor de schimb de căldură).

Capitolul VI: „Tendințe în utilizarea combustibililor solizi inferiori", cuprinde o trecere în revistă a căilor care se întrevăd în prezent, pe plan mondial și în R.S.R., privind utilizarea rațională a combustibililor solizi inferiori. Sînt examinate atît sistemele convenționale de ardere cît și sistemele neconvenționale (focarul-ciclon, arderea în strat fluidizat și gazificarea).

Cartea este, în ansamblu, o lucrare echilibrată, bine alcătuită, care cuprinde un volum important de date, nepublicate încă în literatura tehnică autohtonă. În cadrul expunerii se acordă o atenție deosebită problemelor aferente valorificării șisturilor bituminoase, combustibil de perspectivă pentru centralele termoelectrice. Informațiile rezultate din experiența existentă în R.S.R. și în Europa, prezentate în lucrare, constituie elemente utile pentru specialiștii care lucrează în domeniul cercetării, proiectării și exploatării instalațiilor termoenergetice.

Lucrarea poate fi recomandată specialiștilor care lucrează în domeniul valorificării combustibililor inferiori.

Ing. **Gh. Chereea**

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.187.15

Станисавлиевич, Л.: **Химические режимы воды для котлов**

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 282–286

ДК 621.165 : 662.62

Думитру, К. и *Трянцэ-Гицеску, П.:* **Возможности снижения удельного потребления топлива на турбинах с конденсацией путем постоянного контроля инфильтраций воздуха в кондесатор**

Представляется метод контроля степени герметичности конденсатора путем постоянного наблюдения во время работы за температурной разницей забойки и смеси пар-вода, всасываемой эжектором.

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 286–290

ДК 621.315.615.2

Беднар, Х., Сабэу, И. и *Силберг, И.:* **Очистка электроизоляционных масел**

Описывается аналитический метод, позволяющий контроль степени реальной очистки трансформаторного масла, поставленного потребителю соответственно после его введения в трансформатор.

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 291–293

ДК 621.316.1.004.1

Предан, Фл.: **Определение уриовней оптимального напряжения в электрической сети, соответственных собственным минимальным технологическим потреблениям**

Рассматривается проблема нахождения комплекта значений напряжений из узлов, которые привели бы к минимальным значениям потерь мощности при определенном перетоке мощности в элементах электроэнергетической системы.

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 294–299

ДК 621.316.1.001.5

Попеску Анка, Кристович, А., Некшулеску, Д. С. и *Ватрэ, Ф.:* **Соображения, касающиеся затруднений использования воздушных электрических многократных цепей**

Статья рассматривает некоторые специфические вопросы, появляющиеся как следствие электромагнитного и электростатического влияния на параллельных линиях 110—400 кв, установленных на этих же опорах.

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 300–311

ДК 621.311.22/23

Штайн, М. и *Попеску, Г.:* **Точки зрения касающиеся использования островных режимов некоторых теплоэлектростанций, работающих на местном потреблении**

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 311—315

ХРОНИКА

ДК 331.0–8 : 621.3.016.4.001.6

Вэйдяну, К.: **Относительно периода защиты и осуществления научных и технических творчеств, протежируемых в Институте энергетических исследований и модернизаций, в конце 1977 года**

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 315–324

Дэнилэ, И. и *Никулеску, Н.:* **Шестое совещание теплоэнергетиков**

Energetica 26 (1978), N° 9, стр. 325

РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.187.15

Stanisavljevici, L. : **Chemische Kesselwasserregimes**

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 282–286

DK 621.165 : 662.62

Dumitru, C. und *Treanță-Ghițescu, P.* : **Möglichkiteen zur Verminderung des spezifischen Brennstoffverbrauchs bei den Kondensationsturbinen durch eine ständige Kontrolle der Luftaufnahme in den Kondensator**

Es wird ein Verfahren zur Dichtigkeitskontrolle des Kondensators durch kontinuierliche Betriebsüberwachung der Besatztemperaturdifferenz und des vom Strahlsauger eingesaugten Dampf-Luft-Gemisches vorgeführt.

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 286–290

DK 621.315.615.2

Bednar, H., Sabău, I. und *Silberg, I.* : **Reinheitsgrad der elektrischen Isolationsöle**

Es wird ein analytisches Verfahren beschrieben, welches eine Kontrolle des Reinheitsgrades des an Betreibern gelieferten Transformatorenöles bzw. nach Transformatorfüllung gestattet.

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 291–293

DK 621.316.1.004.1

Predan, Fl.: **Bestimmung optimaler Spannungspegel eines elektrischen Netzes unter Berücksichtigung des technologischen minimalen Eigenverbrauchs**

Es wird die Frage der Bestimmung von Werten der Knotenspannung erörtert, welche zu minimalen Leistungsverlustwerten bei einer bestimmten Leistungsströmung durch die Bestandteile des Energiesystems führen sollen.

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 294–299

DK 621.316.1.001.5

Popescu Anca, Cristovici, A., Necșulescu, D. S. und *Vatră, F.* **Betrachtungen zu den Begleiterscheinungen beim Einsatz von Mehrkreis-Übertragungsleitungen**

Im Artikel werden einige Fragen angeschnitten, die infolge von elektromagnetischer und elektrostatischer Beeinflussung auf den auf gemeinsamen Tragmasten verlaufenden 110 bis 400-kV-Übertragungsleitungen entstehen.

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 300–311

DK 621.311.22/23

Stein, M. und *Popescu, G.* : **Standpunkte zum Inselbetrieb von Heizkraftwerken mit örtlichem Verbrauch**

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 311–315

CHRONIK

DK 331.0–8 : 621.3.016.4.001.6

Văideanu, C. : **Zum Stand des Schutzes und der Auswertung des wissenschaftlichen und technischen Schaffens im Institut für Forschung und Modernisierung in der Energetik am Ende des Jahres 1977**

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 315–324

Dănilă, N. und *Niculescu, N.* : **Die VI. Beratung der Thermoenergetiker**

Energetica 26 (1978), H. 9, S. 325

BUCHBESPRECHUNG

SOMMAIRE

CD 621.187.15

Stanisavljevici, L. : **Les régimes chimiques de l'eau pour les chaudières**

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 282–286

CD 621.165 : 662.62

Dumitru, C. et *Treanță-Ghițescu, P.* : **Possibilité de réduire la consommation specifique de combustible dans les turbines à vapeur avec condensation par le contrôle permanent des infiltrations de l'air dans le condenseur**

On présente une méthode pour le contrôle du degré d'étanchéité du condenseur par la surveillance continuelle lors du service de la différence de la température de bourrage et celle du mélange eau-vapeur aspiré par l'éjecteur.

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 286–290

CD 621.315.615.2

Bednar, H., Sabău, I. et *Silberg, I.* : **La pureté des huiles électroisolantes**

On décrit la méthode analytique qui permet le contrôle du degré de pureté réelle de l'huile de transformateur, livrée au consommateur, respectivement après son introduction dans le transformateur.

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 291–293

CD 621.316.1.004.1

Predan, Fl. : **Les niveaux optimaux de tension déterminés dans un réseau électrique correspondant aux consommations propres technologiques minimales**

L'auteur traite de la modalité de trouver la série de valeurs des tensions dans les noeuds conduisant à des valeurs minimes pour les pertes de puissance à une certaine circulation de puissance dans les éléments du système électroénergétique.

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 294–299

CD 621.316.1.001.5

Popescu Anca, Cristovici, A., Necşulescu, D. S. et *Vatră, F.* : **Considérations sur les implications dans l'utilisation des lignes électriques aériennes à circuit multiple**

L'article se réfère à certains problèmes spécifiques qui surgissent à la suite des influences électromagnétiques et électrostatiques dans les lignes parallèles 110–400 kV montées sur les mêmes pylônes.

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 300–311

CD 621.311.22/23

Stein, M. et *Popescu, G.* : **Points de vue sur l'insularisation des centrales électriques pour le chauffage urbain à consommation locale**

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 311–315

CHRONIQUE

CD 331.0–8 : 621.3.016.4.001.6

Văideanu, C. : **Sur le stade de protection et valorisation des créations scientifiques et techniques défendables dans l'Institut de recherches et modernisations énergétiques à la fin de l'année 1977**

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 315–324

Dănilă, N. et *Niculescu, N.* : **La sixième réunion des thermoénergéticiens**

Energetica 26 (1978), no. 9, p. 325

COMPTES-RENDUS

CONTENTS

DC 621.187.15

Stanisavljevici, L. : **Chemical Regimes of Boiler Water**

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 282–286

DC 621.165 : 662.62

Dumitru, C. und *Treanță-Ghițescu, P.* : **Possibilities to Reduce the Specific Fuel Consumption at Condensation Turbines by the Continuous Control of Air Infiltrations in the Condenser**

A method to control the tightness of the condenser, by means of the continuous checking during operation of the temperature difference and the steam-air mixture taken in by the ejector is presented.

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 286–290

DC 621.315.615.2

Bodnar, H., Sabău, I. and *Silberg, I.* : **Purity of Electric Insulating Oils**

The analytical method enabling the control of the purity degree of transformer oil, delivered to the consumer, i.e. after being introduced in the transformer is described.

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 291–293

DC 621.316.1.004.1

Predan, Fl. : **Determining of Optimal Voltage Levels of an Electrical Network Corresponding to Minimal Technological Consumptions**

The problem of finding the voltage values sets of the nodes which should lead to minimal values for the power losses at a certain power circulation in the elements of the power system is discussed.

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 294–299

DC 621.316.1.001.5

Popescu Anca, Cristovici, A., Necşulescu, D. S. and *Vatră, F.* : **Considerations about the Implications of Multi-Circuit OHEL Utilization**

The article treats specific problems occuring as a result of electromagnetic and electrostatic influences in the parallel 110–400 kV lines mounted on the same posts.

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 300–311

DC 621.311.22/23

Stein, M. and *Popescu, G.* : **Points of view regarding the insularization of thermal power plants on local consumption**

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 311–315

CHRONICLES

DC 331.0–8 : 621.3.016.4.001.6

Văideanu, C. : **Regarding the Protection Stage and the Valorification of Scientific and Technic Creation Protected at the Energy Research and Modernizing Institute at the end of 1977**

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 315–324

Dănilă, N. and *Niculescu, N.* : **The VI-th Conference of Thermal Power Workers**

Energetica 26 (1978), nr. 9, p. 325

REVIEWS

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Str. Doamnei 14—16 Sectorul 4. Telefon: 15 08 90. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I. P. I. c. 523

41 401

1979 JAN 29

E 2039

MW

10

REFERATIVA

VOLUMUL XXVI
BUCUREȘTI
OCTOMBRIE 1978

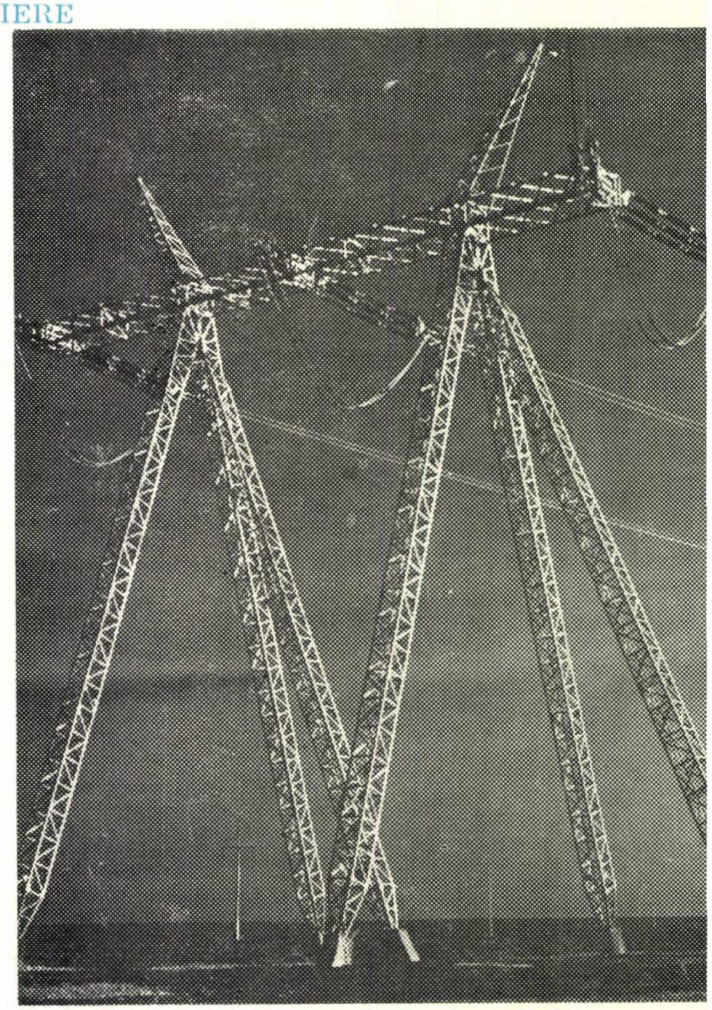
energetica

0 6 12 18 24

TRUSTUL ELECTROMONTAJ
BUCUREȘTI
Calea Moşilor 158
Telefon 16 63 30

EXECUTĂ PRIN GRUPURILE SALE DE ȘANTIERE
cu sediile în :

- BUCUREȘTI
- BACĂU
- CÎMPINA
- CLUJ
- SIBIU
- TIMIȘOARA



- Lucrări de linii electrice aeriene 110-400 kV
- Lucrări de linii electrice subterane pînă la 400 kV
- Lucrări de traversări subfluviale în cablu pînă la 110 kV
- Staţii electrice de transformare de la 6 la 400 kV

Gama lucrărilor de mai sus se execută în străinătate prin intermediul Intreprinderii de comerţ exterior ROMENERGO

1979 JAN 15

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 10 octombrie

Cuprinsul

		Pag.
Florica Ardeleanu	**Optimizarea funcţionării circuitelor de răcire ale centralelor termoelectrice**	329—334
A. Cristovici, Doina Marinescu şi Gh. Manea	**Efectele economice ale compensării puterii reactive. Determinarea amplasamentului şi puterii optime a bateriilor de condensatoare în reţelele IRE, corelat cu compensarea la consumatori**	335—338
L. Hajos	**Unele consideraţii asupra protecţiei prin relee a staţiilor cu scheme poligonale**	338—341
E. Covar	**Protecţie comparativă rapidă împotriva scurtcircuitelor din reţelele electrice**	342—348
M. Gavrilă	**Scheme simplificate de AAR în staţiile de transformare de 110 kV/MT**	348—350
A. Stănculescu	**Metodă operaţională pentru determinarea traseelor optime în reţelele electrice urbane**	351—357
DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII ROMÂNIEI		
C. Morţun	**Electrificarea judeţului Braşov**	357—360
CRONICĂ		
V. I. Nitu	**A IX-a Conferinţă Internaţională de Energetică Industrială**	360—370
* * *	**De la Comitetul naţional român al Conferinţei Mondiale a Energiei**	371—373
RECENZII		

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice

SOMMAIRE

CD 621.311.22/23 : 621-71

Ardeleanu Florica : **Optimisation du fonctionement des circuits de refroidissement des centrales électriques**

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 329 – 334

CD 621.316.727 : 621.319.4

Cristovici, A., Marinescu Doina et *Manea, Gh.*, **Effets économiques de la compensation de la puissance réactive. Emplacement et puissance optimum des batteries de condenseurs dans les réseaux des entreprises d'électricité, en corrélation avec la compensation chez les consommateurs**

On traite le problème de l'emplacement des moyens de compensation de la puissance réactive pour réduire les pertes d'énergie électrique dans le réseaux, avec des investissements minimes.

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 335 – 338

CD 621.311.4 : 621.316.925.004.5

Hajos, L. : **Considérations sur la protection par relais des stations électriques à schémas polygonaux**

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 338 – 341

CD 621.316.1 : 621.3.014.3.004.5

Covar, E. : **Protection comparative rapide contre les court-circuits dans les réseaux électriques**

On présente une protection contre les court-circuits dans les réseaux électriques, à courte temporisation, qui peut être utilisée comme protection de base pour les lignes, transformateurs, autotransformateurs, moteurs asynchrones.

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 342 – 348

CD 621.311.11 : 621.3.027.2

Gavrilă, M. : **Schéma simplifié d'enclechement automatique rapide dans les postes de transformateurs 110 kV/MT**

Sont décrits deux schémas d'enclechement automatique du transformateur de réserve pour les postes simples 110 kV/MT.

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 348 – 350

CD 621.316.1

Stănculescu, A. : **Méthode opérationnelle pour déterminer les tracés optimum des réseaux électriques urbains**

L'auteur présente l'application d'une méthode opérationnelle moderne pour établir la voie minime — la méthode „Branch and Bound'' — dans le calcul des réseaux électriques.

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 351 – 357

CD 621.311.1.001.1

Morțun, C.: **L'électrification du département Brașov**

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 357 – 360

CHRONIQUE

Nitu, V. I. : **La IX-e Conférence Internationale sur l'Energétique Industrielle, Bucarest, 4 – 9 septembre 1978**

Energetica 26 (1978), no. 10, p. 360 – 370

COMPTES-RENDUS

CONTENTS

DC 62.311.22/23 : 621-71

Ardeleanu Florica : **Operation optimization of cooling circuits of thermal power stations**

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 329 – 334

DC 621.316.727 : 621.319.4

Cristovici, A., Marinescu Doina et *Manea, Gh.* : **Economic effects of reactive power compensation. Estimation of the optimum location and power of capacitor batteries within lines of electric network systems, correlated to the compensation at consumers**

The problem is discussed of locating the reactive power compensation means for reducing electric energy losses within networks, with minimum capital costs.

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 335 – 338

DC 621.311.4 : 621.316.925.004.5

Hajos, L. : **Some considerations regarding relay protection of polyhedral scheme substations**

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 338 – 341

DC 621.316.1 : 621.3.014.3.004.5

Covar, E. : **Rapide comparative protection against short-circuits within electric networks**

A protection against short-circuits within electric networks — with short delay time — is presented, which can be used as a basic protection for lines, transformers, autotransformers, synchronous motors.

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 342 – 348

DC 621.311.11 : 621.3.027.2

Gavrilă, M. : **Simplified RA schemes within 110 kV/medium voltage transforming substations**

Two schemes are described of automatic switching in of emergency transformer for simple 110 kV/MV substations.

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 348 – 350

DC 621.316.1

Stănculescu, A. : **Operational method for establishing the optimum routs in urban electric lines**

There is presented the application of a modern operational method for establishing the minimum rout — „Branch and Bound'' — at the computation of electric networks.

Energetica 26 (1978), nr. 10 p. 351 – 357

DC 621.311.1.001.1

Morțun, C.: **Electrification of Brașov district**

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 357 – 360

CHRONICLE

Nitu, V. I. : **The 9-th International Conference on Industrial Energetics, Bucharest, September, 4 – 9, 1978**

Energetica 26 (1978), nr. 10, p. 360 – 370

REVIEWS

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.22/23 : 621 – 71

Арделяну Флорика: **Оптимизация работы охладительных контуров тепловых электростанций**

Energetica 26 (1976), No. 10, стр. 329 – 334

ДК 621.316.727 : 621.319.4

Кристович, А., Маринеску Д. и *Манеа, Г.:* **Экономические эффекты компенсации реактивной мощности. Определение места установки и оптимальной мощности конденсаторных батарей на ЛЭП сетевых предприятий при одновременной компенсации у потребителей**

Обсуждается вопрос расположения средств компенсации реактивной мощности в целях снижения потер электроэнергии в сетях при минимальных капитальных затратах.

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 335 – 338

ДК 621.311.4 : 621.316.925.004.5

Хаиош, Л.: **Некоторые соображения относительно релейной защиты подстанций, имеющих многогранную схему**

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 338 – 341

ДК 621.316.1 : 621.3.014.3.004.5

Ковар, Е.: **Сравнительная быстродействующая защита от коротких замыканий в электрических сетях**

Представлена защита от коротких замыканий в электрических сетях с кратковременной задержкой которые могут быть применены в качестве основной защиты ЛЭП, трансформаторов, автотрансформаторов, асинхронных двигателей.

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 342 – 348

ДК 621.311.11 : 621.3.027.2

Гаврилэ, М.: **Упрощенные схемы АВР на подстанциях 110 кв/среднего напряжения**

Описываются две схемы автоматического включения запасного трансформатора простых подстанций 110 кв/среднего напряжения.

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 348 – 350

ДК 621.316.1

Стэнкулеску, А.: **Операционный метод определения оптимальной трассы городских электрических сетей**

Представлено применение современного операционного метода определения минимальной трассы — метод «Branch and Bound» в расчете электрических сетей.

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 351 – 357

ДК 621.311.1.001.1

Морцун, К.: **Электрификация уезда Брашов**

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 357 – 360

ХРОНИКА

Нику, В. И.: **IX-я Международная Конференция по промышленной энергетике. Бухарест, 4—9 сентября 1978 г.**

Energetica 26 (1978), No. 10, стр. 360 – 370

РЕЦЕНЗИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.22/23 :621-71

Ardeleanu Florica: **Optimierung des Betriebes von Kühlskreisläufen der Wärmekraftwerke**

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 329 – 334

DK 621.316.727 : 621.319.4

Cristovici, A., Marinescu Doina und *Manea, Gh.:* **Ökonomische Effekte des Blindleistungsgleichs. Festlegung des Auftellungsortes und der optimalen Leistung der Kondensatorenbatterien in den Netzen der Netzunternemen unter gleichzeitiger Korrelierung mit dem Blindleistungsausgleich bei den Verbrauchern**

Es wird die Frage der Standortfestlegung für Blindleistungs-Ausgleichsmittel zur Verminderung elektrischer Energieverluste in den Netzen unter Einhaltung minimaler Investitionskosten behandelt.

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 335 – 338

DK 621.311.4 : 621.316.925.004.5

Hajos, L. **Einige Gesichtspunkte zum Relaisschutz der Umspannwerke mit polygonalem Schaltbild**

Energetica 26 (1978) H. 10, S. 338 – 341

DK 621.316.1 : 621.3.014.3.004.5

Covar, E.: **Vergleichender Schnellschutz gegen Kurzschlüsse in den elektrischen Netzen**

Es wird ein Schutz mit geringer Zeitverzögerung gegen Kurzschlüsse in den elektrischen Netzen vorgeführt, welcher als Grundschutz für Leitungen, Transformatoren, Spartransformatoren und Asynchronmotoren eingesetzt werden kann.

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 342 – 348

DK 621.311.11 : 621.3.027.2

Gavrilă, M.: **Vereinfachte Schaltungen zur automatischen Reserveeinschaltung in den 110 kV/Mittelspannungs-Abspannstationen**

Es werden zwei Schaltungen zur automatischen Einschaltung des Reservetransformators für einfache 110 kV/Mittelspannungs-Abspannstationen beschrieben.

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 348 – 350

DK 621.316.1

Stănculescu, A.: **Operationsverfahren zur Bestimmung optimaler Trassen elektrischer Stadtnetze**

Es wird die Anwendung eines modernen Operationsverfahrens zur Bestimmung der minimalen Strecke, nämlich des „Branch and Bound'' Verfahrens, bei der Berechung elektrische Netze behandelt.

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 351 – 357

DK 621.311.1.001.1

Morțun, C.: **Elektrifizierung des Brașov Distrikts**

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 357 – 360

CHRONIK

Nitu, V. I.: **Die IX. Internationale Konferenz für industrielle Energiewirtschaft, Bukarest, 4—9 September 1978**

Energetica 26 (1978), H. 10, S. 360 – 370

BUCHBESPRECHUNG

Optimizarea funcționării circuitelor de răcire ale centralelor termoelectrice

Dr. ing. **Florica Ardeleanu** *)

Producția de energie termoelectrică întrunește trei elemente cu caracter contradictoriu în ceea ce privește impactul cu mediul :

— epuizarea treptată a resurselor de combustibil (fosil) ;

— epuizarea treptată a resurselor de apă ;

— protecția mediului înconjurător.

Aceste probleme au fost tratate sub diferite forme, în cîteva materiale, printre care [1], [2], [3].

România nu numai că nu face excepție de la problemele semnalate, dar chiar, avînd în vedere triplul aspect, acela al stării actuale a resurselor de combustibil, al situării lor pe cursurile superioare și mijlocii ale rîurilor, al marii variabilități a debitelor acestor rîuri în timpul anului, se poate spune că ea se află printre țările în care acuitatea acestor probleme este maximă.

În abordarea acestor probleme se pleacă de la rolul apei în producerea de energie termoelectrică, de la importanța unei ape de răcire cu temperatură cît mai scăzută în asigurarea unor randamente bune ale funcționării termocentralelor. În lucrarea [2] a fost astfel expusă o metodologie preliminară de calcul privind :

— dimensionarea circuitelor de răcire cu ocazia proiectării centralelor noi sau a extinderilor ;

— exploatarea economică a circuitelor de răcire.

O tratare mai sintetică, intuitivă și care simplifică la maximum calculele de optimizare și de luare a deciziilor operative se poate face plecînd de la analiza exergetică a funcționării circuitului de răcire în interacțiune cu partea caldă a condensatoarelor.

Principiile unei asemenea abordări a optimizării circuitelor de răcire sînt prezentate în acest articol.

1. Analiza exergetică a funcționării circuitelor de răcire

1.1. În lucrarea [2] s-a arătat că, prin cedarea obligatorie a unei cantități de căldură mediului înconjurător, expresia randamentelor rezultată din transformarea energiei termice în energie mecanică are forma

$$\eta = 1 - \varphi - \varepsilon,$$

în care φ, respectiv ε reprezintă rapoarte între energia degajată în mediu prin intermediul circuitului de răcire, respectiv alte pierderi raportate la energia primară, degajată prin combustie. Limitele valorilor η, φ, ε au fost menționate sintetic în tabelul 1.

Tabelul 1

	Tipul centralei		
	Cu combustibil fosil	Centrale nucleare	
		reactor cu apă ușoară	reactor supra-generator rapid
η	0,35—0,40	0,30—0,32	0,41
φ	0,45—0,55	0,62—0,68	0,59
ε	0,1 —0,25	0 —0,06	0

1.2. O analiză exergetică pune însă în evidență mai bine domeniul de variație a parametrilor η, φ, ε. În cadrul acestei analize se pleacă de la structura energiei furnizate de sistemul termic al grupului termoenergetic (fig. 1), conform

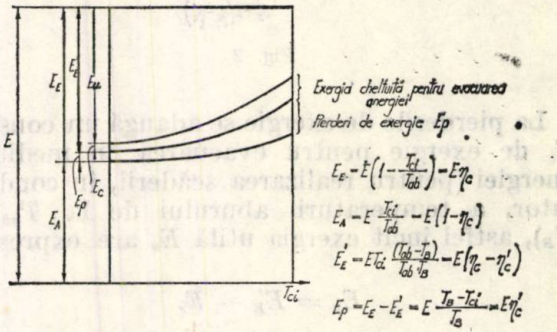


Fig. 1

căruia exergia utilă E_{Eu} este egală cu diferența dintre totalul energiei E și suma componentelor :

— anergia Carnot : $E_A = E\dfrac{T_{ci}}{T_{ab}}$

— exergia E_c consumată pentru evacuarea anergiei ;

— suma pierderilor E_p de exergie.

T_{ci} este temperatura termodinamică a apei la intrarea în condensator, considerată ca temperatură a mediului ambiant ;

T_{ab} — temperatura aburului la intrare în turbină.

1.3. Exergia totală disponibilă a aburului la intrare în turbină este

$$E_E = E\left(1 - \frac{T_{ci}}{T_{ab}}\right) = E\eta_c \qquad (2)$$

Ca urmare a căderii de temperatură $\Delta T = T_{ab} - T_B$ (T_B — temperatura de buraj), exergia remanentă E_{ER} după trecerea prin condensator are expresia :

$$E_{ER} = E\left(1 - \frac{T_{ci}}{T_B}\right) = E\eta_c', \qquad (3)$$

*) Dr. ing. Florica Ardeleanu este cercetător științific principal la ICEMENERG.

în care η_c, η'_c reprezintă randamente Carnot.

Rezultă atunci exergia transformabilă în energie mecanică:

$$E'_E = E_E - E_{ER} = E \cdot T_{ci} \frac{T_{ab} - T_B}{T_{ab} \cdot T_B} = E(\eta_c - \eta'_c) \tag{4}$$

De remarcat faptul că pierderea teoretică de exergie E_p este egală cu E_{ER}. Reprezentarea prin diagramă a transformărilor energetice în dreptul condensatorului este dată în figura 2.

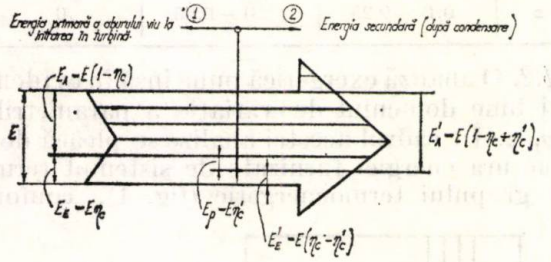


Fig. 2

La pierderile de exergie se adaugă un consum E_e de exergie pentru evacuarea în mediu a anergiei (pentru realizarea scăderii, în condensator, a temperaturii aburului de la T_{ab} la T_B), astfel încît exergia utilă E_u are expresia:

$$E_u = E'_E - E_c \tag{5}$$

1.4. Din relaţiile (2) — (4) se observă că pe măsură ce T_{ci}, respectiv T_B cresc, exergia transformabilă în energie mecanică scade, ceea ce se traduce prin creşterea pierderilor transformate în cheltuieli C_p pe unitate de energie utilă produsă de grup (fig. 3, curba C_p).

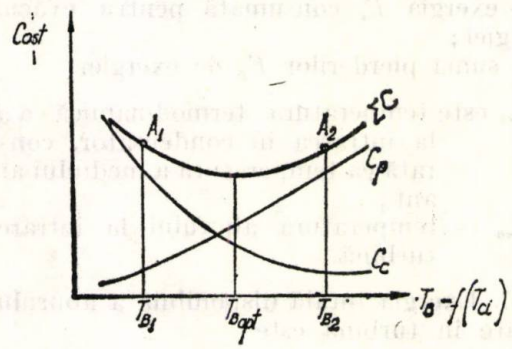


Fig. 3

O scădere a pierderilor C_p implică scăderea corespunzătoare a lui T_B, deci o creştere a cheltuielilor de evacuare a anergiei (investiţii, consum de exergie, alte cheltuieli de exploatare, reprezentate în figura 3 prin curba C_c).

Din însumarea celor două curbe (curba rezultată ΣC) rezultă punctul optim (temperatura de buraj optimă).

2. Problema optimizării

2.1. Relaţii de forma din figura 3 permit optimizarea grupului termoenergetic sub aspectele:

— dimensionării condensatorului;

— proiectării circuitelor de răcire şi a sistemelor de răcire;

— exploatării curente a centralelor termoelectrice.

2.2. Dimensionarea condensatorului este o problemă a fabricii constructoare a maşinii. În acest caz, curba C_p reprezintă costul pierderilor de exergie a grupurilor funcţie de temperatura de buraj T_B. Curba C_c reprezintă, în schimb, o sumă între:

— costul de revenire al condensatorului şi agregatelor de pompare realizate pentru diferite capacităţi de asigurare a schimbului termic, respectiv de realizare a condiţiei $T_B \to T_{ci}$;

— costul energiei cheltuite pentru evacuarea anergiei, reprezentat ca putere folosită pentru învingerea rezistenţelor hidraulice la pomparea apei de răcire prin condensator.

Suma celor două curbe (ΣC) oferă un minim care defineşte mărimea condensatorului, respectiv precizarea debitului nominal al apei de răcire.

2.3. Proiectarea circuitelor de răcire ale termocentralelor, respectiv dimensionarea instalaţiilor de răcire, presupune cunoscute caracteristicile grupurilor, debitele nominale, relaţia $T_B = f(T_{ci})$ pentru condensatoarele convenţional curate, respectiv relaţia $\Delta q_p = f(T_{ci})$, în care Δq_p reprezintă creşterea consumului de combustibil la temperaturi T_{ci} superioare valorii optime indicate de fabrica constructoare.

Astfel, în schema de calcul din figură se pot introduce direct:

— valori T_{ci} în loc de valori T_B pe abscisă;

— curba $C_p = f(\Delta q_p)$;

— curba C_c, reprezentînd suma dintre costul de revenire al investiţiilor pentru sistemele de răcire, respectiv agregatele de pompare aferente, şi costul energiei cheltuite pentru realizarea pompării în turnuri.

Calculul este valabil numai pentru sistemele de răcire în circuit mixt sau închis şi se face pentru:

— condiţiile hidrometeorologice defavorabile de calcul;

— diferite dimensiuni (suprafeţe de stropire) ale răcitoarelor artificiale care, în condiţii meteorologice date, să realizeze în ponderi corespunzătoare $T_T \to \tau$ (T_T fiind temperatura apei răcite în turnuri);

— gradul de încărcare al centralei admis pentru perioada de calcul.

Ordonata ce trece prin punctul de minim rezultat din însumarea curbelor C_p și C_c definește pe curba C_c dimensiunea economică a instalației de răcire și a echipamentelor lor auxiliare.

2.4. Exploatarea curentă a termocentralelor presupune existența de fapt a circuitului de răcire și a agregatelor aferente de vehiculare a apei. Problema economicității se reduce deci strict la examinarea sensului, respectiv efectului unei manevre pentru repliere la condiții hidrometeorologice și de încărcare a centralei date.

De remarcat faptul că aici curbele C_p, respectiv C_c pot fi înlocuite cu curbe Δq_p, respectiv Δq_c (Δq_c reprezintă consumul de combustibil cheltuit pentru vehicularea apei în instalațiile de răcire), așa cum se arată în figura 4.

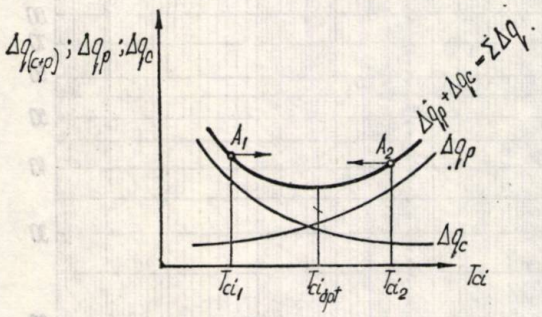


Fig. 4

Schema de calcul din figura 4 reprezintă situația funcționării centralei la un moment dat (încărcarea centralei și condițiile hidrometeorologice). Punctul de minim pe curba ($\Sigma\Delta q$) indică temperatura optimă a apei $T_{ci\,(opt)}$ la intrarea în condensatoare în condițiile de funcționare date. De regulă însă ne găsim la stînga sau la dreapta acestei valori (T_{ci1}, T_{ci2}) corespunzînd pe curba $\Sigma\Delta q$ punctelor A_1, respectiv A_2. Poziția ordonatelor ce trec prin T_{ci1}, respectiv T_{ci2}, arată sensul în care o manevră trebuie făcută pentru a ne apropia de punctul de optim (presupunînd că o asemenea manevră, în condițiile de alcătuire a circuitului de răcire, este posibilă).

Relația conform figurii 4 arată că nu totdeauna o manevră care să asigure o temperatură a apei mai scăzută la intrarea în condensatoare este cea economică.

3. Cazul special al exploatării circuitelor de răcire

3.1. Insistăm asupra acestui caz datorită importanței lui, avînd în vedere că:

—majoritatea centralelor termoelectrice (puterii instalate) din România funcționează în circuit închis sau mixt. Or, tocmai problemele stringente ale economiei de combustibil, pe de o parte, și necesitățile de protecție a mediului (acvatic), pe de altă parte, necesită promovarea unui sistem de gîndire adecvat în exploatarea economică a circuitelor de răcire, cu decizii corecte în organizarea, relativ frecventă (uneori pînă la 2—3 ori pe zi) a manevrelor de pornire/oprire a sistemelor de răcire.

Mai trebuie avute în vedere trei elemente:

a) Schema de calcul în forma din figura 4 devine greoaie în utilizarea cu mare frecvență (dat fiind faptul că curbele Δq_c și $\Sigma\Delta q$ trebuie mereu retrasate).

Păstrînd principiul de calcul, trebuie găsite sisteme operative pentru aprecierea eficacității unei manevre.

b) Circuitele de răcire sînt destul de diferite de la centrală la centrală, ceea ce duce la ideea că problema optimizării trebuie analizată (păstrînd principiile generale menționate), pentru fiecare caz particular.

c) Ideea de optimizare presupune cunoașterea performanțelor instalațiilor de răcire, precum și a parametrilor hidraulici și termici în diferite puncte ale circuitului de răcire.

3.2. Pentru urmărirea procedeului de calcul se ia ca exemplificare o termocentrală echipată cu:

a) grupuri de 100 și de 200 MW (Skoda);

b) posibilități de funcționare în circuit deschis sau mixt/închis;

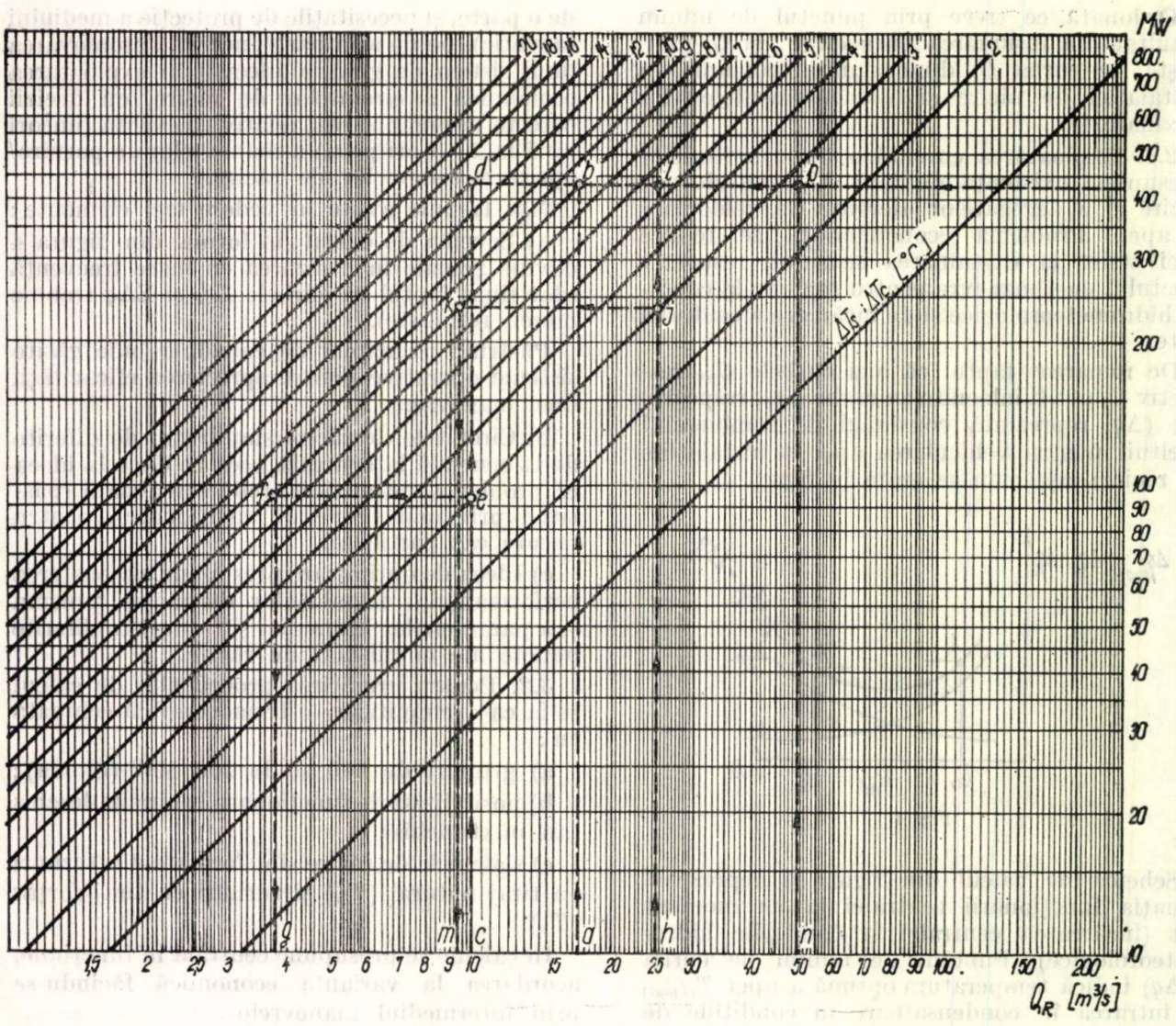
c) sistemele de răcire sînt formate din turnuri cu tiraj natural (T_N) și turnuri cu tiraj forțat (T_F).

În calcule se presupune centrala în funcțiune, acordarea la varianta economică făcîndu-se prin intermediul manevrelor.

3.3. Etapa I a calculului precizează modul de funcționare (circuit deschis, mixt, închis) în funcție de posibilitățile emisarului. Acest lucru se realizează cu o nomogramă de forma redată în figura 5, care precizează, funcție de încărcarea centralei (în exemplu 430 MW), debitul de răcire necesar (în exemplu 16,8 m^3/s) și condițiile de încălzire a emisarului (cu sau fără restricții), debitul ce poate fi preluat de rîu (respectiv cel ce trebuie vehiculat prin turnuri). Nomograma precizează totodată și contribuția termocentralei la supraîncălzirea emisarului.

Exemplul de calcul, cu trei variante de debite disponibile pe rîu în raport cu necesarul centralei, arată posibilitățile de funcționare cu și fără situații de restricții din punctul de vedere al încălzirii termice.

Dacă centrala funcționează în alt fel decît cel rezultat din calcul, se introduc corecțiile necesare.



NOMOGRAMA CALCULEAZĂ :

1. Creşterea de temperatură ΔT_S în sursă, în cazul funcţionării cu şi fără restricţii şi creşterea de temperatură ΔT_C în condensatoare.
2. Debitul rece maxim Q_R posibil-necesar a se pompa în circuit.

Fig. 5

3.4 *Etapa II* a calculului presupune existenţa unor diagrame (specifice unei centrale date), de forma celei din figura 6.

Aceste diagrame regrezintă, într-un alt aranjament, diagrama din figura 4. Diagrama din dreapta reprezintă $\Delta q\% = f(T_{ci})$ — familii de curbe în funcţie de combinaţia de grupuri în funcţiune, iar diagrama din stînga $\Delta q\% = f(\text{MW})$ reprezintă consumul procentual de combustibil pentru diferite combinaţii de turnuri în funcţiune. Cele două diagrame au ordonata $\Delta q\%$ comună.

Pe diagrama din figura 6 se stabileşte punctul $\Delta q_{c1} = f(T_{c1}[\text{MW}]$, combinaţie turnuri) şi apoi prin adunare (pe ordonată) cu curba de pierderi aferentă, se precizeaăă $\Delta q_1 = \Sigma\Delta q_{c1} + \Delta q_{p1}$.

3.5. Etapa III de calcul se referă la examinarea propriu-zisă a eficacităţii unei manevre în sistemul de răcire. În exemplul din figura 6 sînt examinate două variante, curbele în sensul scăderii temperaturii T_{ci}, prin micşorarea densităţii de stropire (introducerea a două, respectiv trei turnuri cu tiraj forţat în funcţiune, în loc de un singur turn).

Procedeul este următorul :

a) se calculează aportul de răcire $\delta\Delta T$ al turnului introdus, respectiv noua valoare a apei răcite T_{ci2}, determinîndu-se punctul Δq_p^2

EXEMPLE DE CALCUL

DATE DE CALCUL

PARAMETRI CENTRALA							PARAMETRI SURSA						
GRUP	1	2	3	4	5	6	VARIANTE POSIBILE	I		II		III	
PUTERE PE GRUP (Mw)	30	0	100	40	0	200		R	F	R	F	R	F
PUTERE TOTALA (Mw)	430						Q_s [m³/s]	10		25		30	
NR. POMPE DE CIRCULATIE IN FUNCTIUNE/GRUP	2p	–	2p	1p	–	2p	ΔT_s [°C] [R/F]	3	F	3	F	4	F
Q_c [m³/s]	16,8												

REZULTATE

MĂRIMEA			DATE DIN	RUBRICA	SENS NOMOGRAFIERE	VAL. SE CITEȘTE PE	ÎN PCT.	VALOAREA CONFORM EXEMPLULUI
ΔT_c [°C]			PARAMETRI CENTRALĂ	PUTERE, Q_c	$a \rightarrow b \rightarrow w$	CURBELE ΔT	b	8°C
ΔT_s (°C)	I	F	PARAMETRI	PUTERE	$w \rightarrow d \rightarrow c$	CURBELE ΔT	d	14°C
	II	F	CENTRALĂ ȘI PARAMETRI SURSĂ	Q_s	$w \rightarrow i \rightarrow h$	CURBELE ΔT	i	5,5°C
	III	F			$w \rightarrow p \rightarrow n$	CURBELE ΔT	p	2,7°C
VARIANTE POSIBILE	I	R	CONDIȚIE DE CALCUL DIN RUBRICA „Parametri sursă".					3°C
	II	R	CONDIȚIE DE CALCUL DIN RUBRICA „Parametri sursă."					3°C
	III	R	2,7 < 3,0 (CONDIȚIE DE CALCUL) CIRCUIT DESCHIS.					2,7°C
Q_R VARIANTE POSIBILE	I	R	PARAMETRI SURSĂ ȘI NOMOGRAMA	PARAMETRI SURSĂ $Q_s : \Delta T_s$	$c \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g$	ABSCISA Q	g	3,75 m³/s
	II	R	PARAMETRI SURSĂ ȘI NOMOGRAMA	PARAMETRI SURSĂ $Q_s : \Delta T_s$	$h \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow m$	ABSCISA Q	m	9,4 m³/s
	III	R	PARAMETRI SURSĂ ȘI NOMOGRAMĂ	PARAMETRI SURSĂ $Q_s : \Delta T_s$	$n \rightarrow p \rightarrow b \rightarrow a$	CURBELE ΔT	a	16,8 m³/s
	I	F	$Q_s < Q_c$ deci Q_s					10,0 m³/s
	II	F	$Q_s > Q_c$ deci Q_c					15,8 m³/s
	III	F	$Q_s > Q_c$ deci Q_c					16,8 m³/s
$Q_r = Q_c - Q_R$								

NOTAȚII:

Q_c – debitul total al condensatoarelor grupurilor în funcțiune [m³/s].
Q_e – debitul de apă rece pompat cu PAR [m³/s].
Q_r – debitul vehiculat prin turnuri [m³/s].
Q_s – debitul sursei (m³/s)
ΔT_s – creșterea de temperatură în sursă [°C].
ΔT_c – creșterea de temperatură în condensatoare [°C].
F – funcționare fără restricții privind evacuarea de apă caldă în sursă.
R – funcționare cu restricții privind evacuarea de apă caldă în sursă.

și apoi punctul Δq_2, asemănător cazului de la 3.4.

b) se unesc printr-o linie dreaptă punctele Δq_1 și Δq_2.

Dacă dreapta este coborîtoare în sensul dinspre Δq_1, manevra este economică.

În exemplul din figura 6 reiese că introducerea a încă unui turn este economică, dar scăderea în continuare a densității de stropire (introducerea a două turnuri) este neeconomică.

3.6. În introducerea parametrilor T_{ci}, $\delta\Delta T$ în diagrama din figura 6 apar unele dificultăți întrucît sînt necesare calcule de bilanț termic pe centrală, între debitele Q_R, Q_{TF}, Q_{TN} și temperaturile aferente, și care, în final, avînd în vedere și puterea centralei în momentul respectiv, concură la stabilirea temperaturilor T_{ci}.

Pentru aceasta se folosesc nomograme auxiliare (fig. 7). Ele permit efectuarea următoarelor tipuri de calcule:

– calculul lui T_{ci}, cunoscînd Q_c, Q_T, Q_R, T_R, T_T;

– calculul temperaturilor distribuite $\delta\Delta T$, cunoscînd valorile mărimilor T_T, ΔT_T, Q_T, Q_c (T_T, ΔT_T se află din diagramele de răcire ale turnurilor).

Considerații finale

Cele expuse au avut scopul de a sublinia ideea că optimizarea unui circuit de răcire, sub apectul proiectării, al exploatării și chiar al dimensionării mașinii (condensatorului) se poate face plecînd de la analiza exergetică a transformărilor energetice în interiorul grupului generator de energie termoelectrică. Această

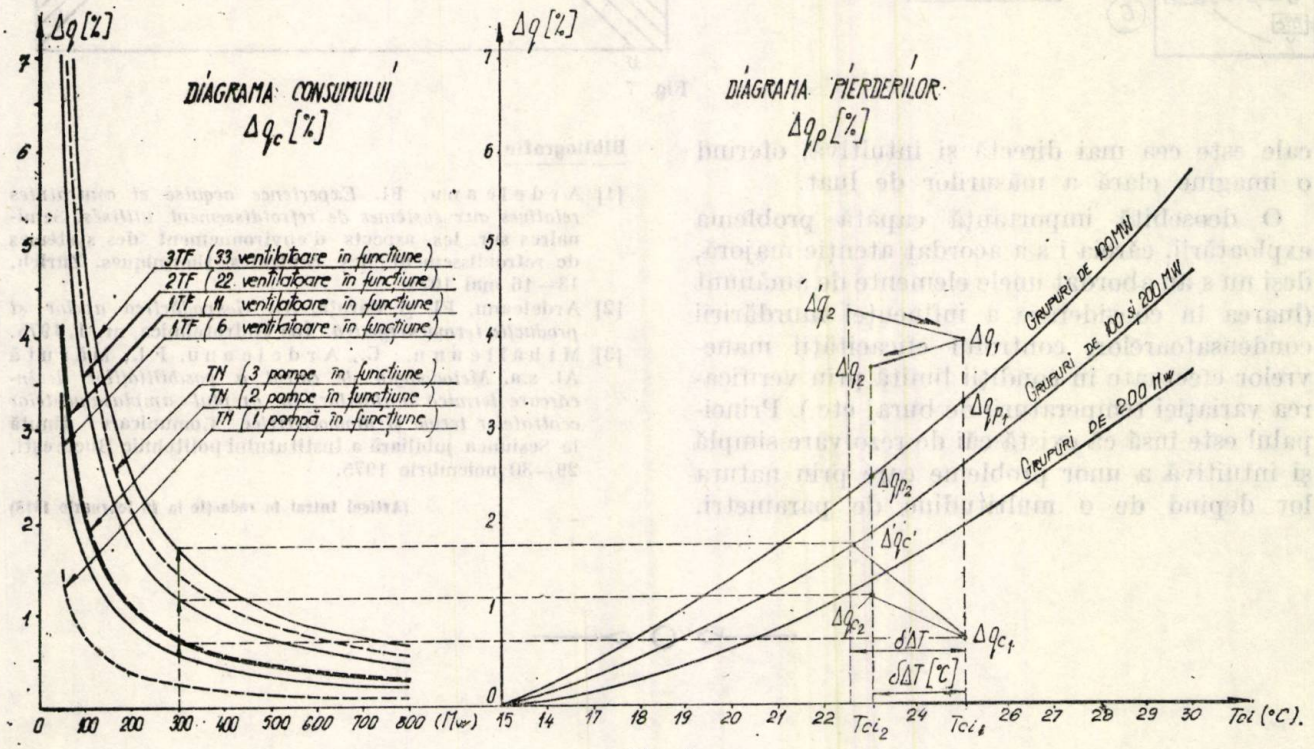


Fig. 6

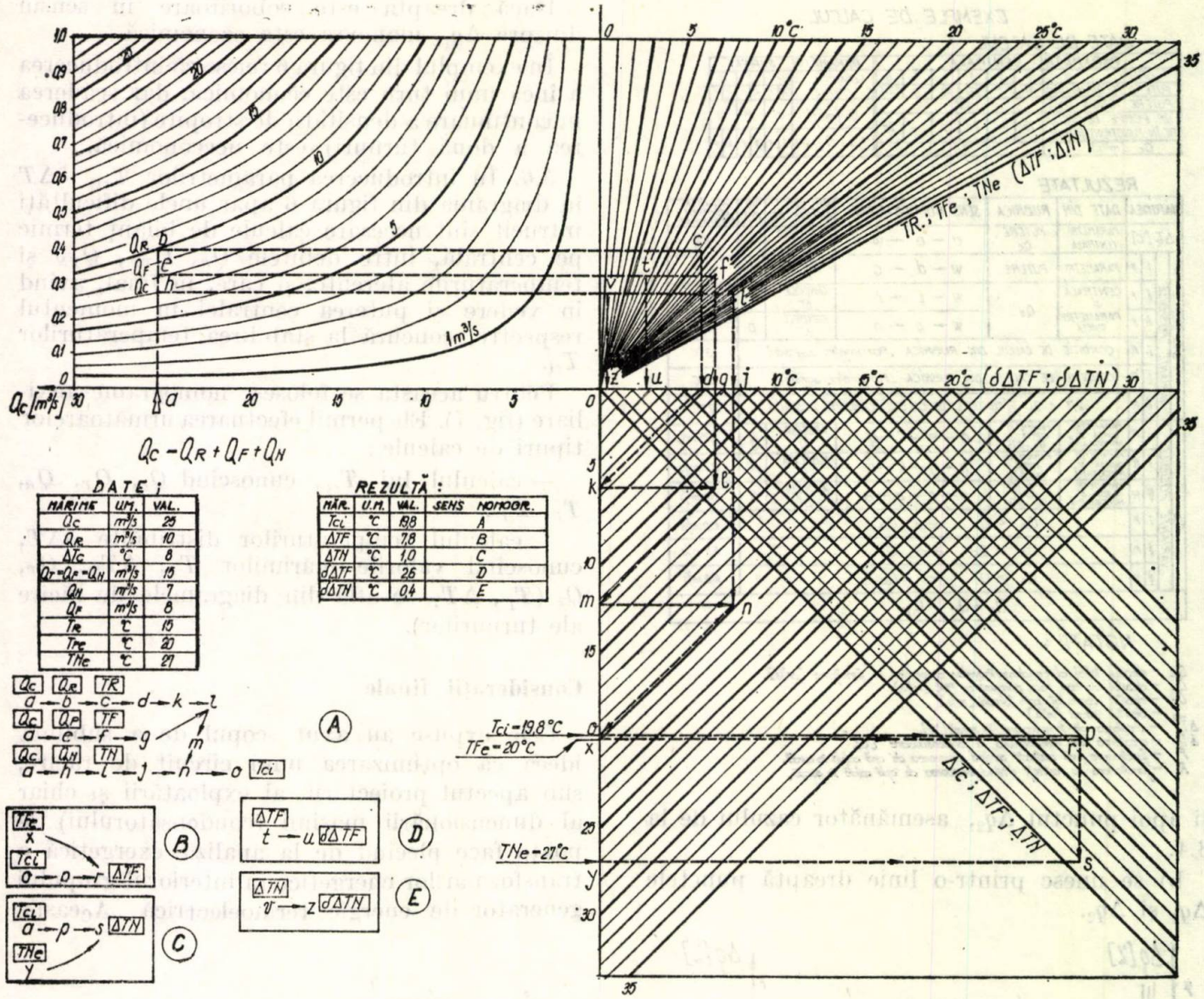


Fig. 7

cale este cea mai directă şi intuitivă, oferind o imagine clară a măsurilor de luat.

O deosebită importanţă capătă problema exploatării, căreia i s-a acordat atenţie majoră, deşi nu s-au abordat unele elemente de amănunt (luarea în considerare a influenţei murdăririi condensatoarelor, controlul eficacităţii manevrelor efectuate în condiţii limită prin verificarea variaţiei temperaturii de buraj etc.). Principalul este însă că există căi de rezolvare simplă şi intuitivă a unor probleme care prin natura lor depind de o multitudine de parametri.

Bibliografie

[1] Ardeleanu, Fl. *Experience acquise et contraintes relatives aux systèmes de refroidissement utilisés.* Seminaires sur les aspects d'environnement des systèmes de refroidissement des centrales thermiques. Zürich, 13—16 mai 1974.

[2] Ardeleanu, Fl. şi Măruţă, Al. *Gospodărirea apelor şi producţia termoenergetică.* În: Hidrotehnica, nr. 1, 1975.

[3] Mihăileanu, C., Ardeleanu, Fl., Măruţă Al. ş.a. *Metodologia de calcul a posibilităţilor de încărcare termică a riurilor, în dreptul amplasamentelor centralelor termo şi atomoelectrice* Comunicare ţinută la Sesiunea jubiliară a Institutului politehnic Bucureşti, 29—30 noiembrie 1975.

(Articol intrat în redacţie la 10 februarie 1978)

Efectele economice ale compensării puterii reactive. Determinarea amplasamentului și puterii optime a bateriilor de condensatoare în rețelele IRE, corelat cu compensarea la consumatori

Dr. ing. **A. Cristovici**
Ing. **Doina Marinescu**
Ing. **Gh. Manea***)

1. Generalități privind compensarea puterii reactive în sistemul energetic

Dezvoltarea actuală și de perspectivă a sistemului energetic se caracterizează prin creșterea consumului de putere activă și reactivă, transmiterea la distanță a puterilor prin rețelele de 220 și 400 kV, mărirea numărului treptelor de transformare între centrale și consumatori.

Centralele electrice nu pot acoperi tot consumul de putere reactivă. Ele sînt dimensionate pentru o producție nominală de putere reactivă de circa 50—60% din producția de putere activă.

Dacă centralele sînt situate departe de centrul de consum, apar în plus limitări la transmiterea puterii reactive din cauza condițiilor de funcționare a rețelei (apar căderi inadmisibile de tensiune, se înrăutățește siguranța în funcționare și cresc pierderile).

În aceste condiții a devenit mai avantajos să se producă local puterea reactivă, în surse specializate instalate în rețelele Ministerului Energiei Electrice sau la consumatori.

Sursele specializate de producere a puterii reactive sînt compensatoarele sincrone și bateriile de condensatoare.

Compensatoarele sincrone, ca unități de puteri mari (peste 50 MVar) se utilizează pentru compensarea puterii reactive și reglajul tensiunii în rețeaua de transport de 220—400 kV, unde se cer calități deosebite pentru reglaj, variația puterii reactive în ambele sensuri, reglaj fin și elastic al tensiunii într-o bandă largă.

Ca unități de puteri mici, se folosesc la consumatorii industriali cu regim deformant și variații de tensiune (flicker).

Bateriile de condensatoare-șunt se realizează într-o gamă largă de puteri și se racordează de obicei pe medie sau joasă tensiune.

Amplasarea mijloacelor de compensare a puterii reactive în rețea constituie o problemă de optim economic, implicînd investiții în mijloacele de compensare și economii în reducerea pierderilor.

2. Amplasarea optimă a mijloacelor de compensare a puterii reactive și eficiența lor economică

Legat de compensarea puterii reactive la consumatori și în rețelele IRE, ISPE a elaborat în 1975 două instrucțiuni privind modul de rezolvare a acestor probleme, și anume PE 120/1975 și PE 931/1975.

În PE 120/1975 — Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele de distribuție exploatate de IRE — se precizează că alegerea variantei optime de compensare pentru o rețea, din mai multe variante posibile, se face pe baza comparării costului de revenire al energiei reactive (lei/kVarh) pe variantă.

Metoda preconizată are dezavantajul că se poate alege varianta optimă dintr-o serie de variante din care nici una nu se justifică economic.

În scopul eliminării acestui dezavantaj, s-a elaborat un algoritm nou privind amplasarea optimă a bateriilor de condensatoare într-o rețea electrică.

Pentru a asigura eficiența maximă a compensării puterii reactive este necesar ca amplasarea surselor de putere reactivă să se realizeze astfel încît să conducă la o reducere maximă a pierderilor de putere activă în rețea.

În cazul compensării puterii reactive prin instalarea bateriilor de condensatoare, s-a calculat reducerea minimă de pierderi necesară justificării instalării unui MVAr. Calculul constă în egalizarea cheltuielilor totale actualizate pe durata de viață a bateriei (20 ani) în varianta compensată și necompensată. Din această egalitate se deduc reducerile minime de pierderi necesare justificării instalării unui MVAr în bateriile de condensatoare. Sub această limită compensarea nu mai este rentabilă economic.

2.1. *Criteriul pentru alocarea optimă a unei cantități date de putere reactivă între nodurile unei rețele*

Se preconizează că pentru studierea amplasării bateriilor de condensatoare să se pornească de la un regim staționar optim din punct de vedere al circulației de putere reactivă, realizat pe baza mijloacelor existente de reglaj în rețea, și anume:

— puterea reactivă la nodurile generatoare;
— prizele la transformatoare.

Problema de rezolvat este următoarea: fiind dată o cantitate de putere reactivă Q_{tot} ce urmează a se instala în baterii de condensatoare — cantitate stabilită în prealabil ca necesară funcționării sistemului într-o zonă — precum și valorile maxime ale compensării admise în

*) Dr. ing. Andrei Cristovici este șeful Serviciului regimuri speciale din Institutul de studii și proiectări energetice; ing. Doina Marinescu este analist gr. II la Centrul de calcul ISPE; Gheorghe Manea este inginer proiectant în serviciul regimuri speciale din ISPE.

fiecare nod al zonei, să se determine modul de repartizare a surselor de putere reactivă, astfel încît să se realizeze o reducere maximă a pierderilor.

Problema constituie o problemă de programare neliniară (ecuațiile rețelei fiind neliniare) cu restricții, condițiile de optim fiind formulate pe baza teoremei lui Kuhn și Tucker.

Algoritmul de rezolvare folosește metode de gradient.

Teorema Kuhn și Tucker

Fiind dată funcția cost sau obiectiv $F(x)$ cu restricțiile inegalitare $G(x) \leqslant 0$ și restricțiile egalitare $H(x) = 0$ și presupunînd convexitatea funcțiilor F, G, H, condiția de minim pentru $F(x)$ este $dL = 0$, unde $L = F(x) + \alpha^T G(x) + \beta^T H(x)$ cu $\alpha_i \geqslant 0$.

β_i arbitrar și $\alpha_i G_i(x) = 0$ la minim.

Restricțiile egalitare sînt date de ecuațiile de funcționare a rețelei.

$$\begin{aligned} I_i(U, \theta) &= P_{Gi} - P_{ci} \\ K_i(U, \theta) &= Q_{Gi} - Q_{ci} \end{aligned} \tag{1}$$

(U și θ reprezintă tensiunea și argumentul).

Restricțiile inegalitare sînt de menținere a puterii reactive la generatoare și a tensiunii în noduri în banda asmisibilă de funcționare.

$$\begin{aligned} Q_{Gi}^{min} &\leqslant Q_{Gi} \leqslant Q_{Gi}^{max} \\ U_i^{min} &\leqslant U_i < U_i^{max} \end{aligned} \tag{2}$$

În cazul de față, funcția de optimizat F o constituie pierderile de putere activă, dar în cadrul repartiției optime a puterilor reactive, unde puterile generate sînt constante, minimizarea pierderilor este echivalentă cu minimizarea puterii generate în nodul de echilibru P_{G1}.

Lagrangianul generalizat este:

$$\begin{aligned} L = P_{G1} + \sum_1^N \lambda_i (I_i - P_{Gi} + P_{ci}) + \sum_1^N \mu_i (K_i - Q_{Gi} + \\ + Q_{ci}) + \sum_1^{NG} [\bar{\varepsilon}_i (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{max}) + \underline{\varepsilon}_i (Q_{Gi}^{min} - Q_{Gi})] + \\ + \sum_1^{NG} \bar{u}_i (U_i - U_i^{max}) + \underline{u}_i (U_i^{min} - U_i)], \end{aligned} \tag{3}$$

unde λ_i și μ_i sînt variabilele duale asociate constrîngerilor egalitare, iar ε_i și u_i variabilele duale asociate constrîngerilor inegalitare.

Condițiile de optim sînt date de anularea derivatelor Lagrangianului în raport cu necunoscutele problemei ($dL = 0$).

$$\begin{cases} \sum \lambda\alpha \dfrac{\partial I_\alpha}{\partial \theta_i} + \sum \mu\alpha \dfrac{\partial K_\alpha}{\partial \theta_i} = 0 \\ \sum \lambda\alpha \dfrac{\partial I_\alpha}{\partial U_i} + \sum \mu\alpha \dfrac{\partial K_\alpha}{\partial U_i} = 0 \end{cases} \tag{4}$$

De asemenea, la optim trebuie îndeplinite condițiile de excludere date de relațiile:

$$\begin{aligned} &\sum_1^{NG} \bar{\varepsilon}_i (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{max}) = 0 \\ &\sum_1^{NG} \underline{\varepsilon}_i (Q_{Gi}^{min} - Q_{Gi}) = 0 \\ &\sum_1^{NG} \bar{u}_i (U_i - U_i^{max}) = 0 \\ &\sum_1^{NG} \underline{u}_i (U_i^{min} - U_i) = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

Rezolvarea sistemului de ecuații (4) dă valoarea variabilelor λ și μ. La optim, aceste variabile au semnificația de coeficienți de sensibilitate ai funcției-obiectiv în raport cu variația puterii active, respectiv reactive consumate în nodul i.

Variabila μ_i reprezintă variația puterii generate la nodul de echilibru la variația consumului de putere reactivă în nodul i cu 1 MVAr.

Relația de mai sus trebuie interpretată ca o relație diferențială, valabilă strict numai în punctul de funcționare.

Valori pozitive ale lui μ_i indică o scădere a pierderilor la o scădere a consumului de putere reactivă; compensarea consumului de putere reactivă într-un nod este cu atît mai eficientă cu cît valoarea variabilei μ_i a acelui nod este mai mare.

Vectorul μ indică o ordine de prioritate în compensare, dar nu indică modul de repartizare a compensării între nodurile rețelei.

Presupunem alocarea cantității Q_{tot} în trepte foarte mici, ΔQ. În urma unui regim se obține un șir de valori pentru fiecare nod consumator; se alocă ΔQ nodului cu μ_{max}. Se recalculează regimul staționar și rezultă un nou șir de valori μ_i; se alocă următoarea cantitate ΔQ de asemenea nodului caracterizat printr-un μ_{max}. Operația se repetă pînă la epuizarea cantității totale de putere reactivă Q_{tot}.

În absența restricțiilor de compensare, procesul se oprește cînd în toate nodurile în care s-a efectuat compensarea s-a ajuns la o egalitate a valorilor lui μ, și anume la μ_{med}. Rezultă că unei cantități de putere reactivă Q_{tot} pentru compensare îi corespunde o valoare μ_{med} în rețea.

Mai există, pe lîngă nodurile cu μ_{med}, noduri care nu au intrat în procesul de compensare, și anume acelea care au $\mu < \mu_{med}$ și noduri cu $\mu > \mu_{med}$, acolo unde valoarea de putere reactivă a ajuns la valoarea maximă indicată prin datele de bază.

Din cele expuse rezultă următorul criteriu de amplasare optimă a surselor de putere reactivă în rețea din punctul de vedere al reducerii pierderilor, și anume: o cantitate de putere reactivă este alocată optim atunci cînd costul marginal al energiei reactive (μ) este egal în toate nodurile rețelei.

Metoda prezentată anterior servește numai pentru demonstrarea criteriului de compensare optimă și nu poate constitui un algoritm, deoarece necesită un volum mare de calcule.

2.2. *Algoritm pentru determinarea compensării optime a puterii reactive*

Utilizarea gradientului de ordinul II

În cele ce urmează se face o prezentare simplificată a algoritmului de compensare a puterii reactive.

Problema de rezolvat constă în a găsi modul de repartizare între noduri a unei cantități impuse de putere reactivă de compensare Q_{tot}, astfel încît să se realizeze în toate nodurile rețelei un cost marginal (μ) egal al puterii reactive.

Pentru aceasta se parcurg în esență următoarele două etape:

a) *Determinarea caracteristicii* $\mu - Q$

Presupunîndu-se o dependență liniară, se trasează dreapta $\mu - Q$ pentru fiecare nod la care se efectuează compensarea pe baza a două regimuri succesive, care diferă prin creșteri ΔQ_i date nodurilor:

$$\mu_i = a_i Q_i + b_i$$

$$a_i = \frac{\mu_i^{(2)} - \mu_i^{(1)}}{\Delta Q_i}$$

$$b_i = \mu_i^{(2)} - a \cdot Q_i^{(2)}$$

Panta a_i fiind calculată ca $\Delta\mu_i/\Delta Q_i$ are semnificația gradientului de ordinul II al funcției-obiectiv, μ fiind gradientul de ordinul I.

b) *Determinarea valorilor de compensare pe baza unui algoritm de interpolare*

Se adoptă pentru început o valoare inițială oarecare pentru μ_{med}. În nodurile cu compensare se vor calcula valorile compensării ΔQ_i necesare ca nodul să aibă $\mu_i = \mu_{med}$.

$$\Delta Q_i = \frac{\mu_{med} - \mu_i}{a_i}.$$

Deoarece ΔQ_i trebuie să fie pozitiv, compensarea se realizează numai pentru nodurile cu $\mu > \mu_{med}$.

Va rezulta o valoare a compensării totale $\Sigma\Delta Q_i$.

Dacă $\Sigma\Delta Q_i > Q_{tot}$, se adoptă un nou μ_{med}, mai mare decît cel precedent; invers, dacă $\Sigma\Delta Q_i < Q_{tot}$, adică nu a fost folosit tot disponibilul de putere reactivă pentru compensare, se micșorează μ_{med} și se trece la iterația următoare.

Se ajunge în final să se găsească un μ_{med} care să corespundă unei compensări Q_{tot} (în limitele unei toleranțe acceptate).

Cu cantitățile de putere reactivă astfel alocate în noduri, se calculează un nou regim staționar; reducerea de pierderi pe sistem față de regimul inițial necompensat va verifica succesul metodei. Valorile compensărilor obținute trebuie ajustate la treptele constructive ale condensatoarelor prin exces pentru nodurile cu $\mu > \mu_{med}$ și prin lipsă pentru nodurile cu $\mu < \mu_{med}$.

Peste compensarea astfel determinată, alocări suplimentare de surse de putere reactivă se fac numai din verificarea condițiilor de avarie, corespunzător criteriilor de dimensionare ale sistemului.

2.3. *Eficiența economică a compensării puterii reactive*

La baza calculului eficienței economice a compensării puterii reactive stă metoda cheltuielilor totale actualizate.

Pe durata de viață a bateriilor de condensatoare se calculează cheltuielile totale în varianta amplasării bateriilor de condensatoare și în varianta necompensată.

Din egalizarea cheltuielilor în cele două variante s-au dedus reducerile minime de pierderi necesare justificării economice a unui MVAr instalat.

Orice MVAr instalat într-un nod cu un $\mu > \mu_{min}$ necesar produce o economie pe durata de viață a bateriei proporțională cu diferența între μ_{med} și μ_{min} necesar. Conform acestui criteriu s-a trasat diagrama din figura 1.

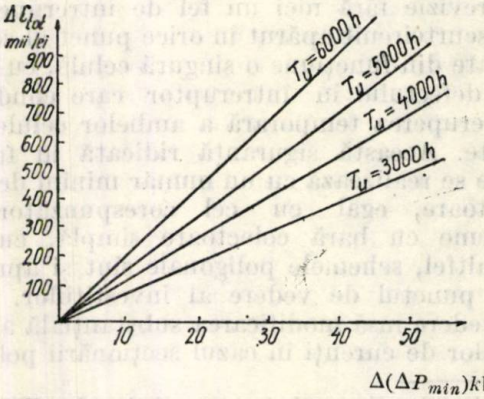


Fig. 1. Eficiența economică a bateriilor de condensatoare.

În general, în cadrul unui studiu de compensare, eficiența se calculează la global, nu pe fiecare nod în parte.

Amplasarea unei cantități Q_{bat} cu o reducere de pierderi ΔP dă o valoare medie pe MVAr de $\Delta p/Q_{bat}$ (kW/MVAr). Această reducere medie se compară cu reducerea minimă necesară și rezultă economia de pierderi ($\Delta(\Delta P)$ pe MVAr.

Corespunzător acestei economii, din diagrama din figura 1 rezultă economia la cheltuielile totale pe perioada de viață a bateriei pe MVAr; înmulțind această economie cu Q_{bat}, se obține economia totală.

3. Precizări privind compensarea puterii reactive la marii consumatori industriali

În PE 931/1975 — Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari — se prevede că pentru necesități de sistem un consumator poate avea un factor de putere neutral diferit de 0,92.

Aceste prevederi vizează consumatorii racordați lîngă centralele electrice sau aflați în zone deficitare ale sistemului.

Stabilirea factorului de putere neutral al acestor consumatori se va face corelat cu factorul de putere optim al zonei, inpus de necesitățile sistemului.

Periodic, ISPE, în cadrul studiilor de reglaj al tensiunii pe sistem, pentru etapa de perspectivă, va stabili, conform metodologiei prezentate la par. 2, necesitățile de putere reactivă pe zone, deci factorul de putere optim pe zone. Acest factor va constitui factorul de putere neutral al consumatorilor racordați în zona respectivă.

În cazul noilor consumatori, factorul de putere neutral se va preciza în stabilirea soluției de alimentare în corelație cu zona în care se racordează consumatorul.

Concluzii

Dezvoltarea actuală și de perspectivă a sistemului energetic impune asigurarea producerii puterii reactive local prin surse specializate: compensatoare sincrone sau baterii de condensatoare.

Compensarea puterii reactive are drept scop:

— îmbunătățirea nivelului de tensiune și menținerea tensiunii în banda admisibilă de funcționare în regim normal și de avarie;

— mărirea capacității de transport a liniilor prin descărcarea lor de putere reactivă;

— reducerea consumului tehnologic în rețea.

Alocarea surselor de putere reactivă în rețea constituie o problemă de optim tehnico-economic, rezolvată conform metodologiei prezentate la par. 2.

Factorul de putere optim pe zonă, odată stabilit, constituie factorul de putere neutral al marilor consumatori racordați în zonă.

(Articol intrat în redacție la 6 aprilie 1978)

Unele considerații asupra protecției prin relee a stațiilor cu scheme poligonale

Ing. L. Hajos*)

Schemele poligonale sînt foarte apreciate deoarece prezintă unele asemănări funcționale cu schema cu două întreruptoare pe circuit. Orice întreruptor din instalație poate fi scos în revizie fără nici un fel de întrerupere, iar un scurtcircuit apărut în orice punct al schemei scoate din funcțiune o singură celulă, cu excepția defectului în întreruptor care conduce la întreruperea temporară a ambelor celule adiacente. Această siguranță ridicată în funcționare se realizează cu un număr minim de întreruptoare, egal cu cel corespunzător unei scheme cu bară colectoare simplă, cu care, de altfel, schemele poligonale sînt și apropiate din punctul de vedere al investițiilor. Avînd în vedere însă modificarea substanțială a circulațiilor de curenți în cazul secționării poligonului și dificultățile care rezultă din aceasta în reglajul protecției prin relee, precum și greutățile mari de extinderi ulterioare, ca și faptul că economia procentuală de întreruptoare, de exemplu față de o schemă clasică cu bare colectoare duble, scade odată cu creșterea numărului de laturi ale poligonului, schemele poligonale se folosesc mai ales sub formă de triunghi sau patrulater, de obicei la tensiuni foarte înalte (220 kV și 400 kV), unde extinderile neprevizibile sînt foarte puțin probabile [1].

În figura 1 sînt date variantele de realizare a unei stații de profil poligonal, respectiv patrulater, din punctul de vedere al locului de montare a transformatoarelor de curent și deci de alimentare cu curent secundar a protecției prin relee. Astfel se disting:

— varianta a) — transformatoare de curent montate atît pe laturile poligonului cît și pe plecări;

— varianta b) — transformatoare de curent montate doar pe laturile poligonului;

— varianta c) — transformatoare de curent montate doar pe plecări.

Comparînd cele trei variante, se constată că numărul de seturi de transformatoare de

*) Ladislau Hajos este inginer proiectant la ISPE.

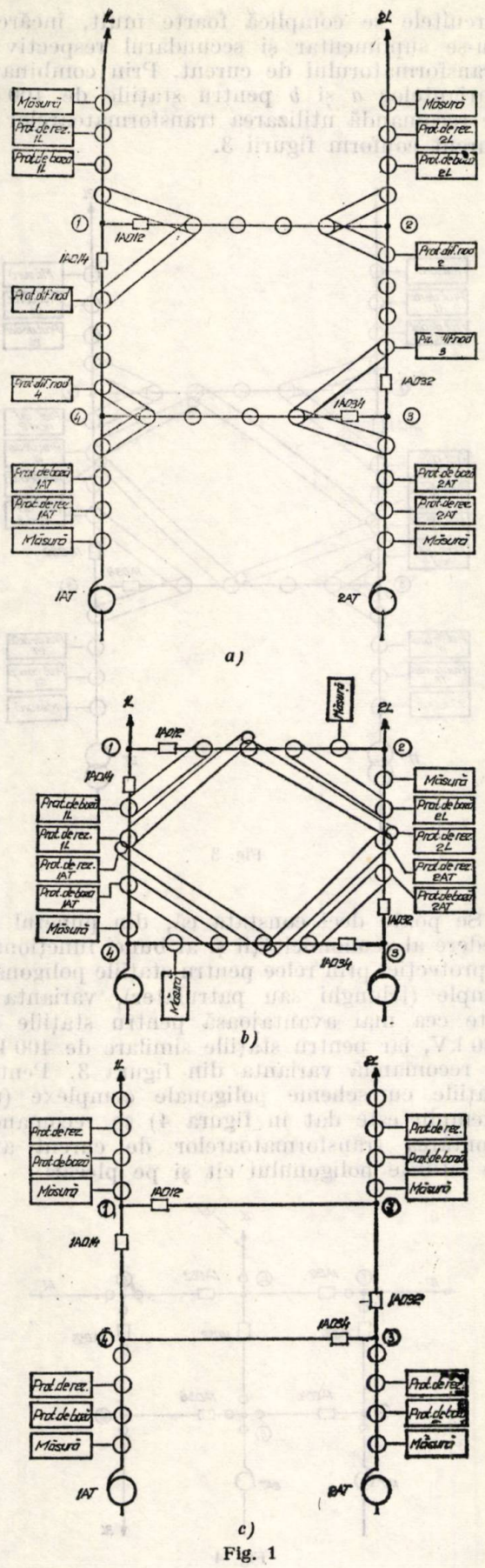


Fig. 1

curent este de două ori mai mare în varianta *a* decît în variantele *b* şi *c*.

La staţiile din variantele *a* şi *c* protecţiile prin relee sînt alimentate de curenţii secundari ai transformatoarelor de curent montate pe elementele respective, identic ca la staţiile cu bare colectoare. Pentru staţiile din varianta *a* se mai realizează în plus o protecţie diferenţială de nod.

La staţiile din varianta *b*, protecţia prin relee se alimentează de la suma curenţilor secundari ai transformatoarelor de curent de pe laturile poligonului.

Protecţiile prin relee ale staţiilor poligonale realizate conform figurii 1 asigură deconectarea defectelor astfel :

— varianta *a* asigură deconectarea defectelor de pe linii sau transformatoare prin protecţiile elementelor respective şi a defectelor din zona nodurilor poligonului prin protecţiile diferenţiale de nod;

— varianta *b* asigură lichidarea scurtcircuitelor de pe linii sau transformatoare, precum şi din zona nodurilor poligonului, prin protecţiile elementelor respective (linii sau transformatoare) alimentate de la suma curenţilor secundari ai transformatoarelor de curent montate pe laturile poligonului;

— varianta *c* asigură lichidarea defectelor de pe linii sau transformatoare fără a se acoperi zona nodurilor poligonului.

Din variantele prezentate mai sus rezultă că, din punctul de vedere al protecţiei prin relee, varianta *c* este dezavantajoasă deoarece defectele din zona nodurilor poligonului vor fi lichidate de protecţiile de rezervă din staţiile de la celelalte capete, în acest fel pierzîndu-se avantajul principal al schemei poligonale.

Varianta *b* ridică unele probleme din punctul de vedere al alimentării cu curent a aparatelor de măsură. Fiecare set de transformatoare de curent dispune de un singur miez cu clasă de precizie 0,5, deci aparatele de măsură nu pot fi alimentate de la suma curenţilor secundari, ca în cazul protecţiilor prin relee. Măsura se poate deci face doar prin montarea aparatelor respective pe transformatoarele de curent de pe laturile poligonului, urmînd ca personalul de exploatare să obţină valorile necesare prin însumarea algebrică a valorilor astfel obţinute, în funcţie de sensurile curenţilor pe laturile respective. Acest lucru, deşi incomod şi dificil, se poate realiza la staţiile cu scheme poligonale simple (triunghi sau patrulater), devenind însă o imposibilitate pentru staţiile poligonale complexe, unde într-un singur nod converg mai mult de două laturi.

Transformatoarele de curent fabricate în ţară pentru tensiunile de 220 şi 400 kV, tip CESU$_k$, dispun de patru miezuri secundare, dintre care unul cu clasa de precizie 0,5 şi celelalte 10 P. În aceste condiţii, urmărindu-se

montarea pe miezuri secundare diferite a protecţiilor de bază şi a celor de rezervă, pentru staţiile din varianta *b* protecţiile prin relee s-au repartizat astfel :

— protecţia de bază (de distanţă pentru linii de 220 kV şi diferenţială pentru autotransformatoare de 220/110 kV) — direct pe suma curenţilor secundari ;

— protecţia de rezervă (homopolară pentru linii de 220 kV şi de distanţă pentru autotransformatoare de 220/110 kV) — pe suma curenţilor secundari ai miezurilor rămase disponibile, conform figurii 2. Se folosesc transformatoare intermediare *TI*, astfel ca un acelaşi

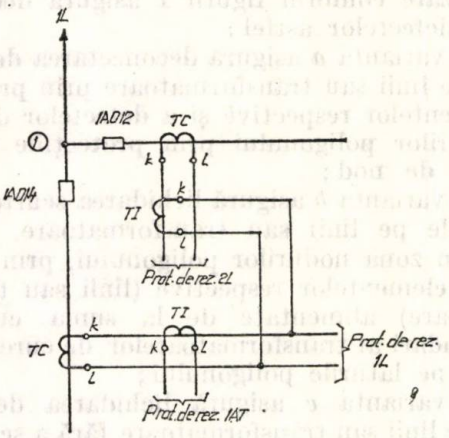


Fig. 2

miez secundar al transformatorului de curent *TC* să poată fi folosit la însumarea curenţilor secundari necesari alimentării protecţiilor de rezervă a două circuite primare.

Problema repartizării protecţiilor se complică la staţiile de 400 kV, unde numărul protecţiilor prin relee necesare protejării diferitelor circuite primare este mai mare. Astfel :

— liniile de 400 kV se echipează cu :

— protecţie de bază — două protecţii de distanţă ;

— protecţie de rezervă — protecţie homopolară ;

— transformatoarele de 400/110 kV, 250 MVA se prevăd cu :

— protecţie de bază — protecţie diferenţială ;

— protecţie de rezervă — protecţie de distanţă şi homopolară.

În aceste condiţii, atît în varianta *a* cît şi în varianta *b* este necesară montarea mai multor protecţii pe acelaşi miez secundar. În cazul în care nu este necesară montarea unei protecţii diferenţiale de nod pe miezurile secundare rămase disponibile (varianta *a*), se poate monta protecţia de distanţă asigurîndu-se astfel protejarea zonei nodurilor poligonului. Varianta *b* nu este recomandabilă pentru staţii de 400 kV, deoarece prin montarea mai multor protecţii pe acelaşi miez secundar circuitele se complică foarte mult, încărcîndu-se suplimentar şi secundarul respectiv al transformatorului de curent. Prin combinarea variantelor *a* şi *b* pentru staţiile de 400 kV se recomandă utilizarea transformatoarelor de curent conform figurii 3.

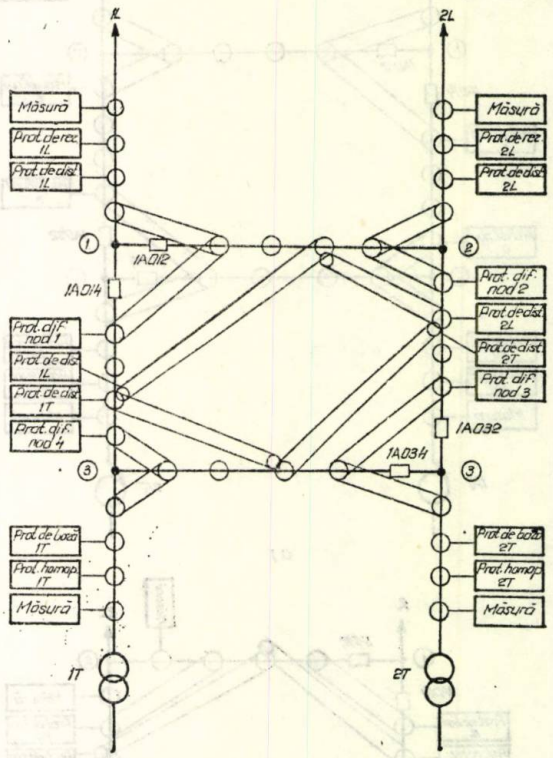


Fig. 3

Se poate deci constata că, din punctul de vedere al economicităţii şi al bunei funcţionări a protecţiei prin relee pentru staţiile poligonale simple (triunghi sau patrulater), varianta *b* este cea mai avantajoasă pentru staţiile de 220 kV, iar pentru staţiile similare de 400 kV se recomandă varianta din figura 3. Pentru staţiile cu scheme poligonale complexe (un exemplu este dat în figura 4) se recomandă montarea transformatoarelor de curent atît pe laturile poligonului cît şi pe plecări.

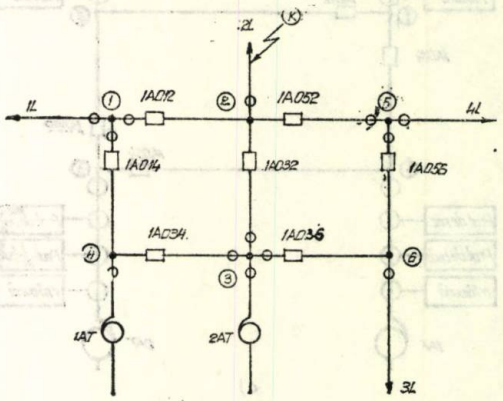


Fig. 4

După cum se poate constata din cele de mai sus, protecţiile prin relee, indiferent de locul de montare a transformatoarelor de curent, comandă în cazul unui scurtcircuit deconectarea tuturor întreruptoarelor adiacente nodului la care este racordat circuitul pe care s-a produs defectul. Spre exemplu, la un scurtcircuit pe linia $2L$ (fig. 4), protecţiile prin relee ale liniei respective lucrează comandînd deconectarea întreruptoarelor 1A012; 1A032 şi 1A052. Comanda de declanşare este mono- sau trifazică, în funcţie de tipul defectului. Odată cu demararea protecţiilor prin relee este pornit şi ciclul de reanclanşare mono-

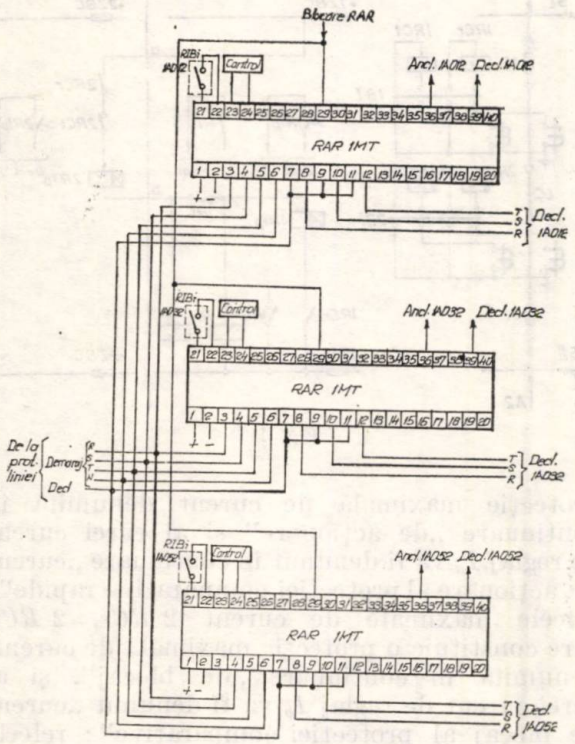


Fig. 5

sau trifazică. Reanclanşarea automată rapidă poate fi realizată fie pe un singur întreruptor, celelalte urmînd a fi reanclanşate manual, fie pe mai multe întreruptoare. Realizarea reanclanşării automate a mai multor întreruptoare, folosind un singur releu de reanclanşare automată rapidă, complică mult circuitele secundare, fiind dificil de realizat datorită multiplelor blocaje ce sînt necesare în aceste cazuri.

O reanclanşare automată rapidă sigură şi simplu de realizat pe mai multe întreruptoare (indiferent de numărul lor) se poate face folosind pentru fiecare întreruptor adiacent nodului la care se racordează linia cîte un releu de reanclanşare automată rapidă (fig. 5). Această soluţie este mai costisitoare, dar asigură un înalt grad de siguranţă în funcţionarea automată a schemei, uşurînd mult totodată activitatea personalului de exploatare.

Avînd în vedere posibilităţile de defectare a întreruptoarelor, şi pentru staţiile cu scheme poligonale se prevăd dispozitive de declanşare de rezervă la refuz de întreruptor. Astfel, în toate nodurile poligonului se prevede o astfel de schemă, care, la refuzul de acţionare al unui întreruptor, în cazul unei comenzi date prin protecţia prin relee, cu o temporizare reglabilă să comande deconectarea întreruptoarelor vecine întreruptorului care s-a defectat şi care nu au fost comandate de protecţia prin relee a circuitului pe care s-a produs defectul. Spre exemplu, la refuzul de acţionare al întreruptorului 1A012 (fig. 4), în cazul unui scurtcircuit în K, se comandă deconectarea prin DRRI a întreruptorului 1A014, întreruptoarele 1A032 şi 1A052 fiind deja comandate de protecţia prin relee a liniei $2L$. Astfel staţia va putea rămîne în funcţiune cu liniile $3L$ şi $4L$, precum şi cu autotransformatoarele 1AT şi 2AT.

Bibliografie

[1] Nitu, V. I. ş.a. *Instalaţiile electrice ale centralelor şi staţiilor.* Editura tehnică, Bucureşti, 1973.

[2] Badea, I. ş.a. *Protecţia prin relee şi automatizarea sistemelor electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1973.

[3] Călin, S. ş.a. *Protecţia prin relee a sistemelor electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1975.

[4] Fedoseev, A. M. *Protecţia prin relee a sistemelor electrice.* (Traducere din limba rusă). Editura energetică de stat, Bucureşti, 1955.

[5] Hajos, L. *Particularităţi şi tendinţe moderne în realizarea protecţiilor prin relee.* Sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice ISPE, Bucureşti, 1973.

(Articol intrat în redacţie la 13 aprilie 1978)

Protecţie comparativă rapidă împotriva scurtcircuitelor din reţelele electrice

Ing. E. Covar*)

Articolul de faţă se referă la o protecţie împotriva scurtcircuitelor din reţele electrice, cu temporizare mică, care se poate utiliza ca protecţie de bază pentru linii, transformatoare, autotransformatoare, motoare asincrone.

Ca protecţie comparativă rapidă este cunoscută protecţia diferenţială longitudinală, care funcţionează în raport cu diferenţa fazorilor curenţilor pe fiecare fază de la capetele elementului de reţea protejat. Această protecţie prezintă în general dezavantajul utilizării unui cablu de legătură între secundarele transformatoarelor de curent de la capetele elementului de reţea protejat, a cărui întrerupere determină funcţionarea greşită a protecţiei sau lasă deschis circuitul secundarului unui transformator de curent, ceea ce conduce la distrugerea acestuia şi necesită deconectarea elementului de reţea.

De asemenea este cunoscută protecţia secţională, care compară sensurile curenţilor de la capetele elementului de reţea protejat utilizînd relee direcţionale. Deoarece releele direcţionale necesită o tensiune remanentă pe bare pentru a putea funcţiona, protecţia secţională prezintă dezavantajul de a nu funcţiona la scurtcircuite apropiate de capetele elementului de reţea protejat şi de a nu fi posibilă aplicarea ei la linii de cabluri, mai ales dacă acestea au lungimi relativ mici.

Atît protecţia diferenţială longitudinală, cît şi protecţia secţională mai prezintă dezavantajul utilizării unor relee complicate şi scumpe.

Protecţia comparativă prezentată înlătură dezavantajele arătate mai sus, prin aceea că, în scopul stabilirii, în mod automat, a faptului că scurtcircuitul se află în elementul de reţea protejat, utilizează:

— la capătul dinspre sursa mai puternică a elementului de reţea protejat, o protecţie maximală de curent care sesizează apariţia scurtcircuitului şi comandă declanşarea întrerupătoarelor;

— la capătul dinspre sursa de putere mai mică sau dinspre consumator, în distribuţia radială, o protecţie maximală de curent desensibilizată faţă de curentul de scurtcircuit, avînd sensul de la bare spre elementul de reţea protejat, care blochează declanşarea întrerupătoarelor dacă scurtcircuitul este exterior elementului protejat;

— o legătură de comandă-blocare prin cablul de comandă între capetele elementului protejat;

— relee de timp a căror temporizare acoperă timpul de lucru al releelor de curent.

În cele ce urmează se dau patru exemple de realizare a protecţiei comparative rapide propuse.

Exemplul 1 — Linie alimentată la ambele capete de la surse de puteri diferite într-o reţea cu neutrul izolat

Protecţia comparativă rapidă cuprinde, după cum se vede în figura 1: releele maximale de curent 1 *RCr*, 1 *RCt*, care constituie o

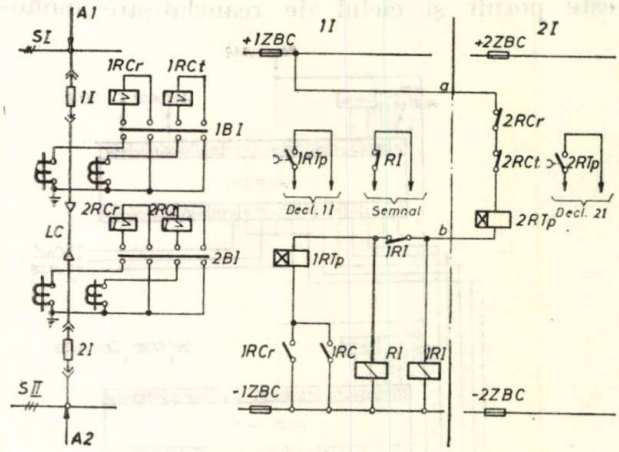


Fig. 1

protecţie maximală de curent denumită în continuare „de acţionare" şi al cărei curent de reglaj I_a va fi denumit în continuare „curent de acţionare al protecţiei comparative rapide"; releele maximale de curent 2 *RCr*, 2 *RCt*, care constituie o protecţie maximală de curent, denumită în continuare „de blocaj", şi al cărei curent de reglaj I_b va fi denumit „curent de blocaj al protecţiei comparative"; releele de timp cu temporizare la acţionare 1 *RTp*, 2 *RTp*; un releu intermediar *RI*; baretele de comandă $\pm 1\,ZBC$, $\pm 2\,ZBC$. Protecţia comparativă rapidă este aplicată unei linii *LC*, realizată în cablu şi racordată printr-un întrerupător debroşabil 1*I* la un sistem de bare S_I avînd o sursă A_1 şi printr-un întrerupător debroşabil 2 *I* la un sistem de bare S_{II} avînd o sursă A_2. Diagrama curenţilor de scurtcircuit şi de reglaj a protecţiei este dată în figura 2. În cazul unui scurtcircuit pe linia protejată *LC*, lucrează releele 1 *RCr*, 1 *RCt*, deoarece curentul de scurtcircuit debitat de sursa A_1 depăşeşte curentul lor de reglaj şi îşi închid contactele normal deschise din circuitul bobinei releului 1 *RTp*, iar releele 2 *RCr*, 2 *RCt* nu lucrează deoarece curentul lor de reglaj depăşeşte curentul maxim de scurtcircuit pe barele S_{II} debitat de sursa A_2, în regim maxim al acestei surse. În continuare se excită releele 1 *RTp* şi 2 *RTp*, care comandă cu temporizare mică declanşarea întrerupătoarelor 1 *I*, respectiv

*) Eugen Covar este inginer proiectant principal III la I.I.T.P.I.C.

2 *I*. În cazul unui scurtcircuit exterior liniei protejate *LC*, pe partea sursei A_1 sau a sursei A_2, releele 1 *RCr*, 1 *RCt* fie că nu lucrează, fie că, dacă lucrează, lucrează și releele 2 *RCr*, 2 *RCt*, care menţin deschis circuitul bobinelor

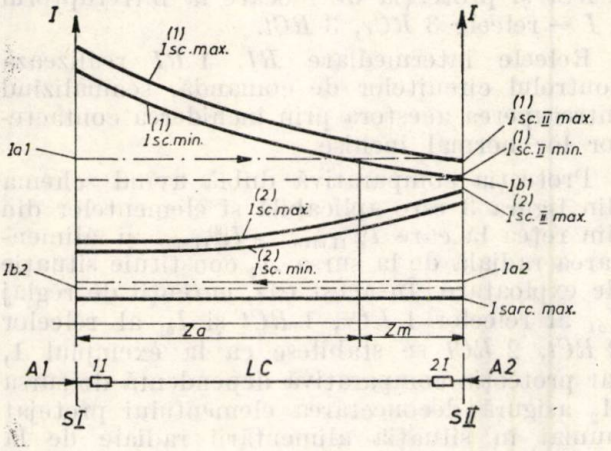


Fig. 2

releelor 1 *RTp*, 2 *RTp*, blocînd astfel comanda de declanşare dată de releele 1 *RCr*, 1 *RCt*. Pentru a asigura această funcţionare la scurtcircuite exterioare liniei protejate, curentul de reglaj al releelor 2 *RCr*, 2 *RCt* este puţin mai mic decît curentul de reglaj al releelor 1 *RCr*, 1 *RCt*, iar temporizarea releelor 1 *RTp*, 2 *Rtp* întîrzie comanda de declanşare pînă la deschiderea contactelor 2 *RCr*, 2 *RCt*, acoperind timpul de lucru al releelor de curent. Îndeplinirea acestor două condiţii asigură selectivitatea absolută la scurtcircuite exterioare elementului protejat pentru protecţia comparativă propusă.

Releul intermediar *RI* controlează integritatea circuitului de comandă şi semnalizează întreruperea lui prin închiderea contactului său normal închis, iar releul 1 *RI* sesizează scurtcircuitul între firele *a*, *b* ale cablului de comandă (bobina 2 *RTp* este şuntată). Tensiunea nominală a bobinei 1 *RI* este mai mare decît aceea a bobinei *RI* şi releul 1 *RI* nu se excită prin înserierea bobinei sale cu bobina 2 *RTp*.

Se impun următoarele relaţii:

$$I_a = k_{sig.1} \cdot I_b, \qquad (1)$$

în care $k_{sig.1}$ este un coeficient supraunitar care acoperă dublul erorii pe care o au releele de curent la valoarea reglată şi

$$t_{RTp} \geqslant t_{Rc} + t_{rev.RTp} + \varepsilon_{RTp}, \qquad (2)$$

în care t_{RTp} este temporizarea releelor 1 *RTp* şi 2 *RTp*, t_{RC} este timpul propriu de lucru al releelor 2 *RCr* şi 2 *RCt*, $t_{rev.RTp}$ şi ε_{RTp} sînt timpul de revenire şi eroarea maximă la valoarea reglată a releelor de timp 1 *RTp*, 2 *RTp*.

Condiţia de desensibilizare a protecţiei de blocare faţă de curentul de scurtcircuit debitat de sursa A_2 se scrie:

$$I_b = k_{sig.2} \cdot I^{(2)}_{sc.\,II\,max.}, \qquad (3)$$

în care $k_{sig.2}$ este un coeficient supraunitar care acoperă eroarea releelor de curent la valoarea reglată, iar, după cum se vede în figura 2, I_a şi I_b au primit indicele 1 deoarece funcţionarea protecţiei se bazează pe existenţa sursei mai puternice A_1; $I^{(2)}_{sc.\,II\,max.}$ reprezintă curentul de scurtcircuit (indicele *sc*) pe barele S_{II} (indicele II) debitat de sursa A_2 (indicele superior (2)) în regim maxim. Celelalte notaţii se interpretează după indici în modul prezentat mai sus.

Din relaţiile (1) şi (3) rezultă curentul de reglaj I_{a1} al protecţiei de acţionare.

$$I_{a1} = k_{sig.1} \cdot k_{sig.2} \cdot I^{(2)}_{sc\,II\,max} \qquad (4)$$

Protecţia comparativă acoperă în întregime elementul protejat dacă

$$I^{(1)}_{sc\,II\,min} \geqslant I_{a1} = k_{sig\,1} \cdot k_{sig\,2} \cdot I^{(2)}_{sc\,II\,max.}$$

În caz contrar, aşa cum se arată în figura 2, protecţia prezintă o zonă moartă, notată cu Z_m, în care nu lucrează protecţia de acţionare, şi o zonă de acţionare notată cu Z_a. Pentru astfel de cazuri este, în general, mai avantajos să se realizeze reglajele:

$$I_{a1} = \frac{I^{(1)}_{sc\,II\,min}}{k_{sig.\,2}}\,;\; I_{b1} = \frac{I_{a1}}{k_{sig.\,1}}, \qquad (5)$$

care asigură ca protecţia de acţionare să lucreze la scurtcircuite în orice punct al elementului protejat, iar zona moartă a protecţiei comparative pentru care $I^{(2)}_{sc} \geqslant I_{b1}$ este variabilă după curentul de scurtcircuit $I^{(2)}_{sc}$ debitat de sursa A_2. Pentru a asigura funcţionarea corectă a schemei de protecţie, este necesar să se ia în considerare erorile releelor de timp 1 *RTp*, 2 *RTp*. Astfel, dacă contactul 1 *RTp* se închide înaintea contactului 2 *RTp*, întrerupătorul 1 *I* declanşează, releele 1 *RCr*, 1 *RCt* îşi revin şi releul 2 *RTp* se dezexcită înainte de a comanda declanşarea întrerupătorului 2 *I*.

Pentru a evita acest lucru este suficient ca temporizările releelor 1 *RTp*, 2 *RTp* să fie reglate la valori egale şi să fie satisfăcută relaţia:

$$2\,\varepsilon_{RTp} < t_{RI} + t_{di} + t_{rev\,RC}, \qquad (6)$$

în care

t_{RI} este timpul de anclanşare a unui releu intermediar (dacă comanda dată de contactul 1 *RTp* este transmisă la bobina de declanşare a întrerupătorului 1 *I* printr-un releu intermediar);

t_{di} — timpul de declanşare a întrerupătorului 1 I;

t_{revRC} — timpul de revenire a releelor 1 RCr, 1 RCt pînă la deschiderea contactelor lor;

ε_{RTp} — eroarea releelor de timp 1 RTp, 2 RTp.

A fost considerat cazul cel mai defavorabil, în care erorile releelor 1 RTp, 2 RTp sînt egale şi de semn contrar: releul 1 RTp îşi închide contactul mai devreme, iar releul 2 RTp îşi închide contactul mai tîrziu.

Dacă relaţia (6) nu poate fi îndeplinită, releul 1 RTp se poate regla la o temporizare mai mare decît a releului 2 RTp, diferenţa fiind $2\,\varepsilon_{RTp} - (t_{RI} + t_{di} + t_{rev\,RC})$ deoarece protecţia comparativă îşi continuă acţiunea pînă la declanşarea întrerupătorului 1 I şi dezexcitarea releelor 1 RCr, 1 RCt, chiar dacă întrerupătorul 2 I a declanşat.

Protecţia comparativă avînd schema din figura 1 este aplicabilă elementelor de reţea pentru care sursa A_2 funcţionează totdeauna în paralel cu sursa A_1 (alimentarea radială a elementului protejat de la sursa A_2 nu constituie o situaţie posibilă de exploatare) şi $I^{(1)}_{sc\,II\,min} > I^{(2)}_{sc\,II\,max}$. Protecţia funcţionează corect şi pe timpul alimentării radiale de la sursa A_1.

Exemplul 2 — Transformator cu două înfăşurări alimentat la ambele capete de la surse de puteri apropiate într-o reţea cu neutrul izolat

În figura 3 este arătată realizarea unei duble protecţii comparative utilizînd în comun releele de timp 1 RTp, 2 RTp şi aplicată unui transformator T, astfel:

— o protecţie comparativă a cărei funcţionare depinde de sursa A_1 are protecţia de acţionare la întreruptorul 1 I — releele 1 RCr, 1 RCt şi protecţia de blocare la întreruptorul 2 I — releele 2 RCr, 2 RCt;

— cealaltă protecţie comparativă, a cărei funcţionare depinde de sursa A_2, are protecţia de acţionare la întreruptorul 2 I — releele 4 RCr, 4 RCt şi protecţia de blocare la întreruptorul 1 I — releele 3 RCr, 3 RCt.

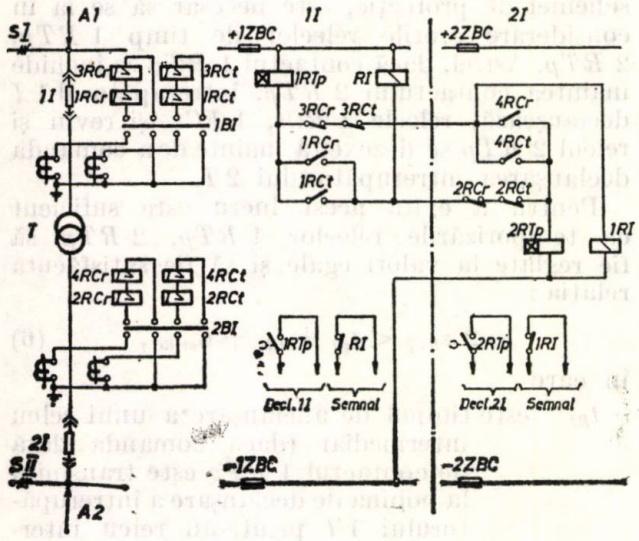


Fig. 3

Releele intermediare RI, 1 RI realizează controlul circuitelor de comandă, semnalizînd întreruperea acestora prin închiderea contactelor lor normal închise.

Protecţia comparativă dublă avînd schema din figura 3 este aplicabilă şi elementelor din din reţea la care $I^{(1)}_{sc\,II\,min} > I^{(2)}_{sc\,II\,max}$ şi alimentarea radială de la sursa A_2 constituie situaţie de exploatare. În acest caz, curenţii de reglaj I_{a1} al releelor 1 RCr, 1 RCt şi I_{b1} al releelor 2 RCt, 2 RCt se stabilesc ca la exemplul 1, iar protecţia comparativă dependentă de sursa A_2 asigură deconectarea elementului protejat numai în situaţia alimentării radiale de la sursa A_2. De aceea curenţii de reglaj I_{a2} al releelor 4 RCr, 4 RCt şi I_{b2} al releelor 3 RCr, 3 RCt se calculează în funcţie de curentul de sarcină maximă $I_{sarc.\,max.}$ (fig. 2) astfel:

$$I_{b2} = \frac{k_{sig.\,2} \cdot I_{sarc.\,max.}}{k_{rev.}}; \quad I_{a2} = k_{sig.\,1} \cdot I_{b2}, \qquad (7)$$

în care k_{rev} este coeficientul de revenire al releelor de curent 3 RCr, 3 RCt. Prin îndeplinirea condiţiilor din relaţia (7), releele 3 RCr, 3 RCt, 4 RCr, 4 RCt nu vor rămîne excitate în regim normal de funcţionare, chiar după excitarea lor la un scurtcircuit exterior. Aceasta nu este o condiţie neapărat necesară pentru buna funcţionare a protecţiei, în sensul că şi la valori mai mici ale curenţilor de reglaj, cînd cele patru relee de curent sînt excitate, protecţia nu comandă deconectarea elementului protejat, ci reprezintă o măsură de precauţie pentru cazul în care cele patru relee de curent ar fi excitate, iar un defect de circuite secundare ar determina dezexcitarea releelor 3 RCr, 3 RCt, şi totodată permite controlul circuitelor de comandă prin releele intermediare RI, 1 RI.

După cum se vede în figura 2, protecţia dependentă de sursa A_2 este blocată de curentul de scurtcircuit $I^{(1)}_{sc}$ debitat de sursa A_1, dacă aceasta alimentează elementul protejat, deoarece $I_{b2} < I^{(1)}_{sc\,min}$.

La nevoie, curenţii de reglaj I_{a2}, I_{b2} pot fi reduşi faţă de cei din relaţia (7), impunînd condiţia ca numai releele 4 RCr, 4 RCt ale protecţiei de acţionare să nu rămînă excitate în regim normal de funcţionare, ceea ce se exprimă astfel:

$$I_{a2} = \frac{k_{sig\,2} \cdot I_{sarc.\,max.}}{k_{rev}}; \quad I_{b2} = \frac{I_{a2}}{k_{sig\,1}}. \qquad (8)$$

În cazurile în care, în urma dezvoltării, puterea sursei A_2 crește, astfel încît $I^{(1)}_{sc\,II\,min} < I^{(2)}_{sc\,II\,max}$, protecțiile comparative avînd schemele din figurile 1 și 3 și reglajele arătate în figura 2 pot fi utilizate, dar prezintă zone moarte cu atît mai mari cu cît curentul de scurtcircuit debitat de sursa A_2 este mai mare. În astfel de cazuri se pot obține zone moarte mai mici ale protecției comparative avînd schema din figura 3, utilizînd una din variantele de reglaj arătate în figurile 4 și 5.

După cum se vede în figura 4:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_a;\ I_{b1} = I_{b2} = I_b;\ I_a = k_{sig\,1}\, I_b,$$

iar curenții de reglaj I_a, I_b se aleg astfel încît să încadreze punctul de intersecție a curbelor de variație a curenților de scurtcircuit debitați de cele două surse. Zona moartă a protecției comparative duble este indicată cu litera B în figura 4. Zona moartă B este cu atît mai

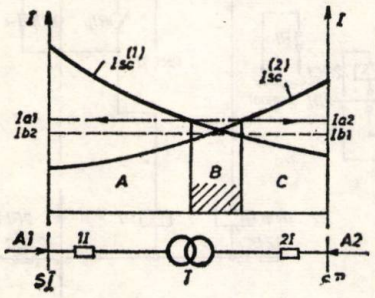


Fig. 4

mică cu cît curbele $I^{(1)}_{sc}$ și $I^{(2)}_{sc}$ au pante mai mari în jurul punctului de intersecție și cu cît $k_{sig\,1}$ este mai mic. Dacă punctul de intersecție al curbelor $I^{(1)}_{sc}$ și $I^{(2)}_{sc}$ se deplasează deasupra sau sub fîșia cuprinsă între paralelele I_a, I_b, zona moartă crește deoarece se măresc zonele în care ambele protecții sînt blocate sau nu acționează. Această variantă de reglaj este aplicabilă elementelor de rețea la care curbele $I^{(1)}_{sc}$, $I^{(2)}_{sc}$ au pante mari în jurul punctului de intersecție și variază puțin (punctul de intersecție se deplasează puțin). Acesta este în special cazul transformatoarelor și al autotransformatoarelor.

În varianta din figura 5, releelor de curent ale protecțiilor de blocare — 2 *RCr*, 2 *RCt*, 3 *RCr*, 3 *RCt* — li se scurtcircuitează bobinele, iar protecțiile de acționare au același curent de reglaj $I_{a1} = I_{a2} = I_a$, care îndeplinește simultan condițiile de desensibilizare față de curenții debitați de sursele A_1 și A_2 la scurtcircuite în afara elementului protejat:

$$I_a \geq k_{sig\,2} \cdot I^{(1)}_{sc\,II\,max};\ I_a \geq k_{sig\,2} \cdot I^{(2)}_{sc\,I\,max} \qquad (9)$$

În această situație, protecția comparativă se compune, de fapt, din două secționări de curent nedirecționate, dar avînd asigurată selectivitatea absolută la scurtcircuite exterioare elementului protejat, cu transmiterea comenzii de declanșare la ambele întreruptoare. În această variantă, protecția comparativă este aplicabilă elementelor de rețea la care curbele $I^{(1)}_{sc}$ și $I^{(2)}_{sc}$ sînt puternic căzătoare, ceea ce corespunde în special transformatoarelor cu

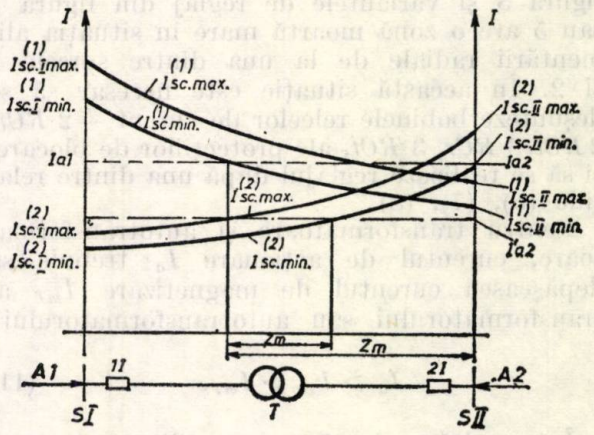


Fig. 5

tensiune de scurtcircuit mare și cu putere nominală mică în raport cu puterea surselor. Dacă în regim minim apare o zonă moartă, notată cu Z_m în figura 5, și dacă între curenții $I^{(1)}_{sc\,II\,max}$ și $I^{(2)}_{sc\,I\,max}$ există o diferență apreciabilă, zona moartă poate fi redusă, așa cum se arată în figura 5, prin utilizarea unei secționări de curent direcționate către elementul protejat, la întreruptorul sursei ce produce cel mai mic dintre curenți $I^{(1)}_{sc\,II\,max}$ și $I^{(2)}_{sc\,I\,max}$. Această protecție nu a mai fost figurată în schemă. Presupunînd, pentru exemplificare, că $I^{(2)}_{sc\,I\,max} < I^{(1)}_{sc\,II\,max}$, ca în figura 5, secționarea de curent direcționată se montează la întreruptorul 2 *I*, comandă declanșarea întreruptoarelor în paralel cu contactele 4 *RCr*, 4 *RCt* și are curentul de reglaj I'_{a2}.

$$I'_{a2} = k_{sig\,2} \cdot I^{(2)}_{sc\,I\,max}. \qquad (10)$$

Datorită releului direcțional, care necesită pentru acționare o tensiune remanentă pe barele S_{II} peste o anumită valoare minimă, secționarea de curent direcționată are o zonă moartă în apropierea barelor S_{II}, dar aceasta este în general acoperită de protecția de acționare — releele 4 *RCr*, 4 *RCt*, care lucrează ca secționare de curent nedirecționată. Pentru schema din figura 3, avînd reglajele arătate în figura 2, eliminarea influenței erorii releelor de timp 1 *RTp*, 2 *RTp* se obține procedînd ca la exemplul 1.

Pentru schema din figura 3, avînd reglajele din figura 4 sau 5, este necesar și suficient să se îndeplinească relația (6). În caz contrar, este posibil, deși puțin probabil, ca protecția să deconecteze numai unul dintre întreruptoarele 1 *I*, 2 *I*. De aceea la punerea în funcțiune

a instalațiilor se vor face probe de verificare a funcționării protecției comparative și, după caz, se vor aduce corecții ale temporizării releelor 1 *RTp*, 2 *RTp* pentru a compensa erorile lor.

Protecția comparativă avînd schema din figura 3 și variantele de reglaj din figura 4 sau 5 are o zonă moartă mare în situația alimentării radiale de la una dintre sursele 1 și 2. În această situație este necesar să se deșunteze bobinele releelor de curent — 2 *RCr*, 2 *RCt*, 3 *RCr*, 3 *RCt*, ale protecțiilor de blocare, și să se realizeze reglajul după una dintre relațiile (5), (7), (8).

Pentru transformatoare și autotransformatoare, curentul de acționare I_a trebuie să depășească curentul de magnetizare I_{mT} al transformatorului sau autotransformatorului:

$$I_a \geqslant k_{sig\,2} \cdot I_{mT}. \qquad (11)$$

Într-o altă variantă se pot utiliza: o protecție comparativă dublă cu schema din figura 3 și reglată după relația (1) și una dintre relațiile (5), (7), (8), care lucrează sigur în cazul alimentării radiale a scurtcircuitului de la oricare dintre sursele A_1, A_2, precum și secționări direcționate sau nedirecționate reglate conform relațiilor (9) și (10), care comandă fără temporizare declanșarea întreruptoarelor la care sînt montate. Prin declanșarea unuia dintre întreruptoarele 1 *I*, 2 *I*, alimentarea scurtcircuitului devine radială și lucrează protecția comparativă.

Exemplul 3 — Linie cu alimentare radială într-o rețea cu neutrul izolat

Pentru cazul alimentării radiale de la sursa A_1, se poate utiliza protecția comparativă avînd schema din figura 1 și reglajul după relațiile (7) și (11).

În cazurile în care protecția de rezervă a elementului de rețea protejat este o protecție maximală de curent temporizată avînd, de regulă, curentul de pornire I_{pp}

$$I_{pp} = \frac{k_{sig\,2} \cdot I_{sarc.\,max.}}{k_{rev}} = I_b, \qquad (12)$$

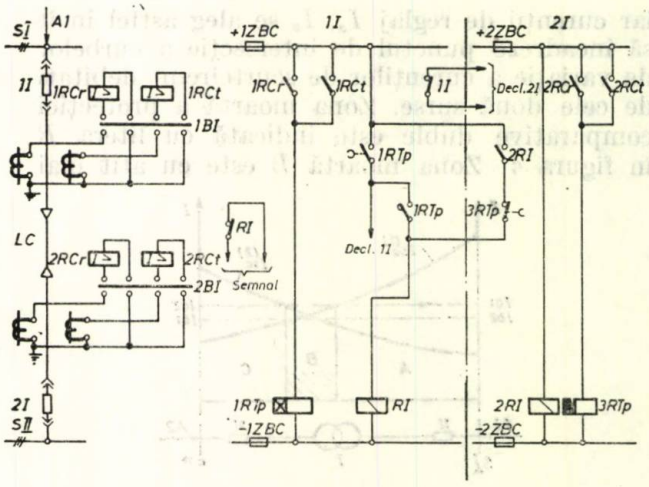
releele de curent ale acesteia pot constitui protecția de acționare a protecției comparative ridicînd puțin reglajul la valoarea:

$$I_a = k_{sig\,1} \cdot I_b = k_{sig\,1} \cdot I_{pp}. \qquad (13)$$

De asemenea, în cazul în care elementul protejat este o linie *LC* ce alimentează radial o bară S_{II} a unei stații de conexiuni cu instalație de AAR, ca protecție de blocare a protecției comparative se poate utiliza blocajul AAR la scurtcircuite pe bare și în aval, ale cărui relee de curent se reglează după relația (12).

Temporizarea necesară protecției comparative se poate realiza și cu un contact pasager temporizat al releului de timp al protecției de rezervă, care pentru mai multă siguranță poate fi înseriat cu un contact normal deschis instantaneu al aceluiași releu de timp, pentru a nu acționa la revenirea releului de timp după lichidarea scurtcircuitelor pe plecările stației S_{II} (din aval) de către întreruptoarele acestora.

În schema din figura 6, releele 1 *RCr*, 1 *RCt* aparțin protecției maximale de curent tempori-



Fil. 6

zate și se reglează la curentul I_a din relația (13), iar releele de curent 2 *RCr*, 2 *RCt* aparțin blocajului AAR la scurtcircuite pe bare și în aval și se reglează la curentul I_b din relația (12), dar totodată este necesar ca I_b să depășească curentul $I_{sc.m}$ debitat de motoarele asincrone și sincrone ale consumatorului la scurtcircuit pe linia *LC*, adică:

$$I_b \geqslant k_{sig\,2} \cdot I_{sc\,m} \qquad (14)$$

La scurtcircuite exterioare, blocarea protecției comparative se realizează printr-un releu de timp 3 *RTp* cu temporizare la revenire, care își deschide contactul său normal închis.

Pentru a împiedica funcționarea greșită a protecției comparative în cazul lipsei tensiunii de comandă la întreruptorul 2 *I*, se utilizează un releu intermediar 2 *RI*, care își deschide contactul său normal deschis înseriat cu contactul 3 *RTp*.

Temporizarea protecției comparative se realizează prin contactul pasager al releului de timp 1 *RTp*, aparținînd protecției maximale de curent temporizată. Controlul circuitului de comandă se realizează cu un releu intermediar *RI*.

Declanșarea întreruptorului 2 *I* se realizează printr-un contact normal închis al între-

ruptorului 1 I, printr-un circuit separat, deoarece servește și altor scopuri : accelerarea AAR, împiedicarea alimentării cu tensiune a liniei din aval spre amonte etc.

Exemplul 4 — Linie într-o rețea în buclă deschisă și cu neutrul izolat

În rețelele de distribuție în buclă deschisă, alimentarea unei linii LC care face parte din buclă este totdeauna radială, dar sursa poate fi atît la un capăt cît și la celălalt. Pentru astfel de cazuri se poate utiliza protecția comparativă dublă avînd schema din figura 3 și reglajele stabilite cu relațiile (7) și (11), luînd $I_{a1} = I_{a2}$ și $I_{b1} = I_{b2}$.

O variantă de schemă este arătată în figura 7. Releele de curent 1 RCr, 1 RCt și releul de

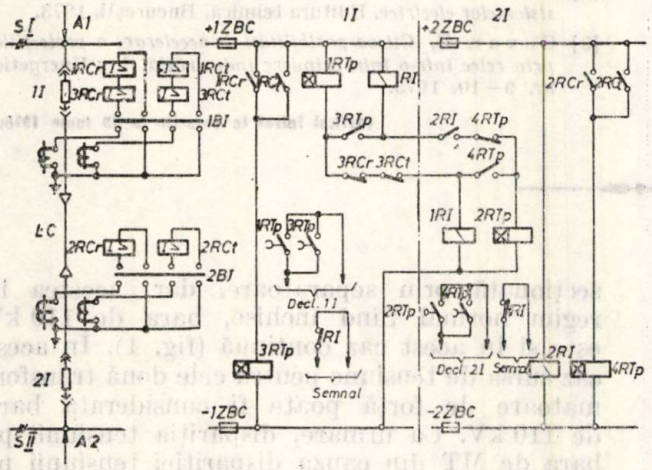


Fig. 7

timp 3 RTp aparțin protecției maxime de curent temporizate a întreruptorului 1 I și constituie protecția de acționare a protecției comparative dependentă de sursa A_1, prin contactul instantaneu normal deschis al releului 3 RTp. Releele de curent 2 RCr, 2 RCt și releul de timp 4 RTp aparțin protecției maxime de curent temporizate a întreruptorului 2 I și constituie protecția de blocare a protecției comparative dependentă de sursa A_1 prin contactul instantaneu normal închis al releului 4 RTp, precum și protecția de acționare a protecției comparative dependentă de sursa A_2 prin contactul instantaneu normal deschis al releului 4 RTp. Protecția de blocare a protecției comparative dependentă de sursa A_2 este realizată cu releele de curent 3 RCr, 3 RCt.

Releele de timp 1 RTp, 2 RTp asigură temporizarea necesară protecției comparative, iar releele intermediare RI, 1 RI realizează controlul circuitelor de comandă. Releul intermediar 2 RI blochează funcționarea greșită a protecției comparative la scurtcircuite exterioare dacă lipsește tensiunea de comandă la întreruptorul 2 I.

Reglajul releelor de curent 1 RCr, 1 RCt — I_{a1}, al releelor 2 RCr, 2 RCt — $I_{b1} = I_{a2}$, al releelor 3 RCr, 3 RCt — I_{b2} se realizează astfel :

$$I_{b2} = \frac{k_{sig\,2} \cdot I_{sarc.\,max.}}{k_{rev}} \; ; \; I_{a2} = I_{b1} = k_{sig\,1} \cdot I_{b2}$$

$$I_{a1} = k_{sig\,1} \cdot I_{b1}.$$

Deoarece I_{a1} și I_{a2} sînt și curenții de pornire ai protecțiilor maximale de curent temporizate, sursa A_1 va fi aleasă sursa cea mai puternică pentru a asigura sensibilitate maximă acestor protecții.

Diagrama curenților este arătată în figura 8.

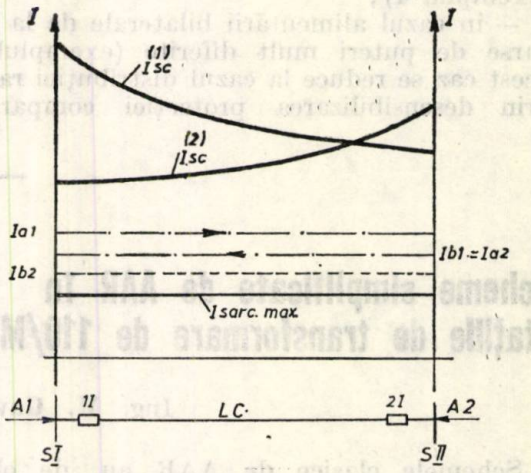


Fig. 8

Concluzii

Protecția comparativă rapidă propusă prezintă următoarele avantaje :

— utilizează relee de construcție simplă, ieftine și sigure în funcționare : releele de curent, de timp, intermediare ;

— legătura realizată în cablu de circuite secundare între întreruptoarele de la capetele elementului de rețea protejat este o legătură de comandă, iar întreruperea ei nu determină deconectarea elementului protejat sau distrugerea unor aparate și, în plus, întreruperea circuitului de comandă este semnalizată automat ;

— pentru realizarea schemei de protecție se pot utiliza contactele unor relee utilizate în alte scopuri (pentru alte protecții) ;

— este mai ieftină decît alte protecții comparative cunoscute, în special la aplicarea ei în rețele de cabluri cu lungimi relativ mici.

Protecția comparativă propusă nu lucrează greșit în cazul scurtcircuitelor exterioare elementului de rețea protejat (este asigurată

selectivitatea absolută față de scurtcircuitele exterioare), dacă sînt îndeplinite condițiile (1) și (2), atît în cazul alimentării radiale cît și în cazul alimentării bilaterale a elementului protejat. În schimb, reducerea și în special eliminarea zonelor moarte ale protecției comparative se realizează uneori mai dificil. Zonele moarte ale protecției comparative sînt:

— zonele de nefuncționare a protecției de acționare;

— zonele de funcționare a protecției de blocare (chiar dacă simultan funcționează și protecția de acționare).

Eliminarea completă a zonelor moarte se poate realiza:

— totdeauna și cu ușurință în distribuția radială (exemplul 3);

— totdeauna în distribuția în buclă deschisă (exemplul 4);

— în cazul alimentării bilaterale de la două surse de puteri mult diferite (exemplul 1); acest caz se reduce la cazul distribuției radiale prin desensibilizarea protecției comparative față de aportul de scurtcircuit al sursei de putere mai mică.

În cazul alimentării bilaterale de la surse de puteri apropiate, protecția comparativă, chiar în varianta dublă (exemplul 2), are totdeauna zone moarte (mai mult sau mai puțin întinse), a căror eliminare este dificilă, relativ complicată sau chiar imposibilă.

Rezultă că domeniul de aplicare avantajoasă al protecției comparative propuse este distribuția radială de medie tensiune din întreprinderile industriale și rețelele urbane.

Bibliografie

[1] Călin, S. și Marcu, S. *Protecția prin relee a sistemelor electrice.* Editura tehnică, București, 1969.

[2] Badea, C. ș.a. *Protecția prin relee și automatizarea sistemelor electrice.* Editura tehnică, București, 1973.

[3] Covar, E. *Cîteva posibilități de accelerare a protecțiilor prin relee într-o întreprindere industrială.* În: Energetica nr. 9—10, 1975.

(Articol intrat în redacție la 19 iunie 1978)

Scheme simplificate de AAR în stațiile de transformare de 110/MT

Ing. M. Gavrilă*)

Schemele clasice de AAR au, de obicei, la bază criteriul lipsei de tensiune la elementul în funcțiune (linie sau transformator) și al prezenței tensiunii la elementul în rezervă.

Acest principiu duce la scheme de AAR foarte complicate, în care se folosește un număr mare de relee și se impun prea multe condiții de funcționare.

Ca urmare, apar multe interblocaje și intercondiționări care fac ca schema logică a acestui tip de AAR să fie greoaie, fapt ce duce în final la scăderea gradului de siguranță al anclanșării automate a rezervei.

Or, o instalație de AAR are rolul de a constitui o rezervă cu siguranță maximă în funcționare și de aceea trebuie concepută cît mai simplă și sigură pentru a-și atinge scopul propus.

În conceperea unor noi scheme de AAR s-a plecat de la analizarea schemelor monofilare ale stațiilor de 110/MT cu două transformatoare.

Se știe că foarte multe stații de transformare de 110/MT sînt concepute cu bară simplă pe partea de 110 kV, care este fie continuă, fie secționată prin separatoare, dar, acestea în regim normal fiind închise, bara de 110 kV este și în acest caz continuă (fig. 1). În acest caz sursa de tensiune pentru cele două transformatoare de forță poate fi considerată bara de 110 kV. Ca urmare, dispariția tensiunii pe bara de MT din cauza dispariției tensiunii pe 110 kV nu mai constituie un caz de anclanșare automată a celuilalt transformator. Singura

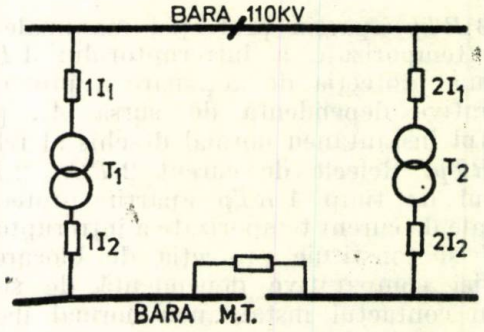


Fig. 1

situație în care se impune anclanșarea automată a celui de-al doilea transformator este aceea în care dispare tensiunea de pe bara de MT din cauză că s-a defectat transformatorul în funcțiune și declanșează prin protecțiile la defecte interne.

În urma acestei analize se poate concepe, pentru acest tip de stații de transformare, o schemă de AAR care să funcționeze numai cînd se defectează unul din transformatoare. În acest fel rezultă o schemă foarte simplă

*) Marin Gavrilă este inginer proiectant la IRE Suceava.

(fig. 2). Schema este alimentată cu curent operativ de la baretele $\pm$ *BC* fie ale transformatorului T_1, fie ale transformatorului T_2, selecţia făcîndu-se cu ajutorul cheii *CA*. În acest fel, circuitele schemei de AAR sînt în permanenţă supravegheate.

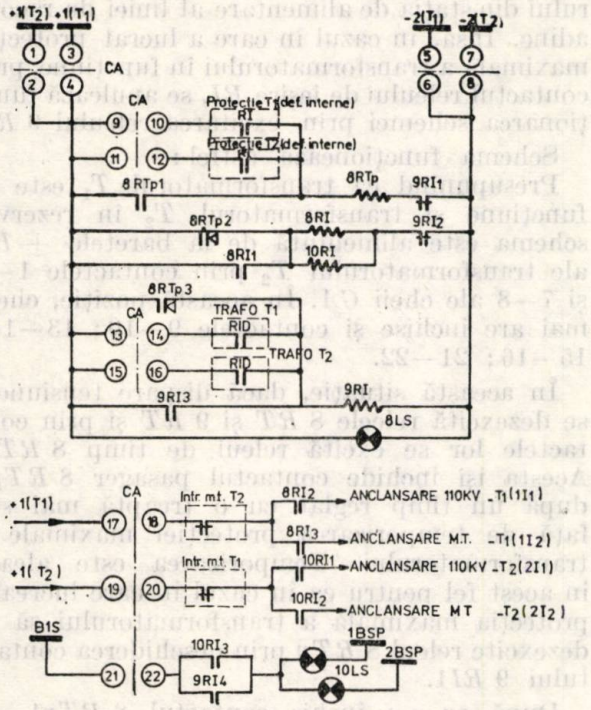


Fig. 2

Cu ajutorul acestei scheme se poate face AAR pe oricare dintre cele două transformatoare, cu anclanşarea ambelor întreruptoare ale transformatorului în rezervă (cel de pe 110 kV şi cel de pe MT).

Presupunînd că transformatorul T_1 este în funcţiune şi transformatorul T_2 în rezervă, schema este alimentată în acest caz de la baretele $\pm$ *BC* ale transformatorului T_2 prin contactele 1—2 şi 7—8 ale cheii *CA*. În această poziţie cheia mai are închise şi contactele 9—10, 15—16, 19—20, 21—22.

Schema funcţionează astfel :

Cînd apare un defect intern în transformatorul T_1, lucrează protecţia diferenţială sau de gaze care dau impuls la releul final *RI*, iar acesta trimite impuls de declanşare la întreruptoare şi totodată porneşte schema de AAR. (Pentru a realiza această schemă trebuie separate protecţiile la defecte interne de protecţiile la defecte externe, ale transformatorului). În acest fel, releul de timp 8 *RTp* va fi atras şi se autoreţine prin propriul său contact (8 RTp_1) chiar dacă transformatorul T_1 a declanşat. Releul 8 *RTp* îşi închide contactul pasager 8 RTp_2, care face să anclanşeze releele intermediare 8 *RI* şi 10 *RI*, care de asemenea se autoreţin prin contactul 8 *RI*1.

În continuare, un plus de la schema de comandă a transformatorului T_2 este trimis prin contactele 10 *RI*1 şi 10 *RI*2 să anclanşeze ambele întreruptoare ale acestui transformator.

Pentru a nu exista riscul de a cupla transformatorul T_2 fără ca în prealabil transformatorul defect T_1 să fi deconectat pe partea de medie tensiune, impulsul de anclanşare pentru întreruptoarele transformatorului T_2 se trece printr-un contact auxiliar normal închis al întreruptorului de pe medie tensiune al transformatorului T_1.

Impulsul de anclanşare se ţine cîteva secunde, după care contactul temporizat 8 *RTp*2 se închide şi anclanşează releul 9 *RI*, care face să se anuleze impulsul de anclanşare.

Deoarece se poate întîmpla ca, după ce a cuplat transformatorul în rezervă, T_2, acesta să declanşeze imediat prin protecţie la defecte interne, şi în acest caz AAR s-ar repeta, s-a conceput ca releul 9 *RI* să cupleze de îndată ce transformatorul T_2 (pe care s-a făcut AAR) a declanşat (eveniment sesizat de releul de declanşare *RID*).

Principalele avantaje ale acestei scheme sînt :

— este foarte simplă şi ca urmare prezintă o siguranţă mărită ;

— nu ridică probleme de întreţinere sau reglaj (ca în cazul schemelor cu relee de minimă tensiune) ;

— timpul de nealimentare a consumatorilor se reduce la minimum posibil, deoarece pauza de AAR, care este dată de contactul pasager 8 *RTp*2, poate fi redusă la zero, spre deosebire de schemele cu relee de minimă tensiune, unde pauza de AAR trebuie să fie mai mare ca pauzele de RAR pe 110 kV sau ale protecţiilor maximale de pe plecările din staţia de medie tensiune ;

— nu se repetă AAR peste defecte.

În mod similar funcţionează schema şi în cazul în care transformatorul T_2 este în funcţiune şi T_1 este pregătit pentru AAR.

O schemă tot la fel de simplă poate fi concepută şi în cazul în care se cere să se realizeze AAR atît pe cele două transformatoare cît şi pe cupla de medie tensiune.

În afară de staţiile cu bară simplă pe 110 kV, în reţelele de 110 kV se întîlnesc de asemenea, în mod frecvent, staţii de racord adînc (fig. 3),

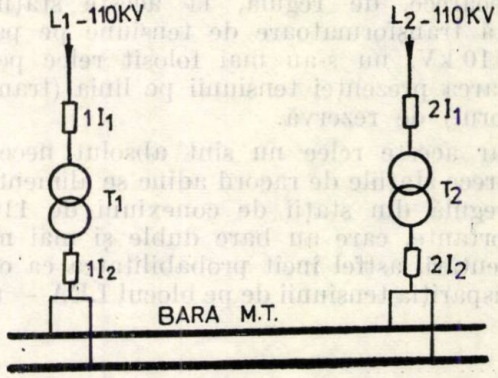


Fig. 3

la care transformatoarele au întreruptoare fie la ambele tensiuni, fie numai la medie tensiune.

În acest caz, schema AAR trebuie concepută prin verificarea lipsei de tensiune pe bara de medie tensiune. Dar și în această situație se poate concepe o schemă foarte simplă (fig. 4), care prezintă siguranță mare în funcționare.

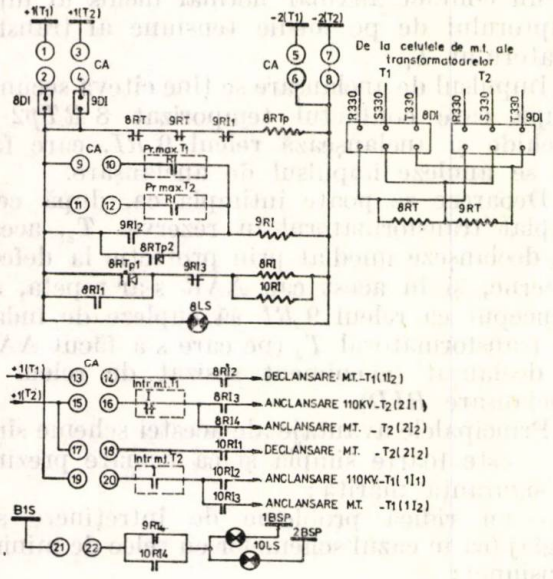


Fig. 4

După cum se vede din figură, demarajul schemei este realizat numai cu două relee de tensiune (în loc de șase relee, cum este în schemele clasice, în care sînt prevăzute cîte două relee pentru lipsa tensiunii și un releu pentru prezența tensiunii la fiecare transformator). Cele două relee de tensiune pot servi pentru ambele transformatoare dacă de la celulele de medie tensiune ale acestora se aduc tensiunile (după ce în prealabil au fost alese de contactele auxiliare ale separatoarelor de bare) la cele două relee 8 *RT*, 9 *RT* prin blocurile de încercare 8 *DI* și 9 *DI*.

De menționat că este în funcțiune (introdus) numai blocul de încercare al transformatorului pregătit pentru AAR. În acest fel se controlează și starea de închis a separatorului de pe bara de medie tensiune, al transformatorului.

Deoarece, de regulă, la aceste stații nu există transformatoare de tensiune pe partea de 110 kV, nu s-au mai folosit relee pentru sesizarea prezenței tensiunii pe linia (transformatorul) de rezervă.

Dar aceste relee nu sînt absolut necesare, deoarece stațiile de racord adînc se alimentează de regulă din stații de conexiuni de 110 kV importante, care au bare duble și mai multe alimentări, astfel încît probabilitatea ca odată cu dispariția tensiunii de pe blocul LEA — trafo în funcțiune să dispară și tensiunea de pe LEA în rezervă este foarte redusă.

Schema pornește la dispariția tensiunii de pe bara de medie tensiune, dispariție ce se poate datora fie deconectării întreruptoarelor transformatorului, fie deconectării întreruptorului din stația de alimentare al liniei de racord adînc. Însă, în cazul în care a lucrat protecția maximală a transformatorului în funcțiune, prin contactul releului de ieșire *RI*, se anulează funcționarea schemei prin excitarea releului 9 *RI*.

Schema funcționează astfel:

Presupunînd că transformatorul T_1 este în funcțiune și transformatorul T_2 în rezervă, schema este alimentată de la baretele $\pm BC$ ale transformatorului T_2 prin contactele 1—2 și 7—8 ale cheii *CA*. În această poziție, cheia mai are închise și contactele 9—10; 13—14; 15—16; 21—22.

În această situație, dacă dispare tensiunea, se dezexcită releele 8 *RT* și 9 *RT* și prin contactele lor se excită releul de timp 8 *RTp*. Acesta își închide contactul pasager 8 *RTp*1 după un timp reglat cu o treaptă mai sus față de temporizarea protecției maximale a transformatorului. Temporizarea este aleasă în acest fel pentru ca în cazul în care lucrează protecția maximală a transformatorului să se dezexcite releul 8 *RTp* prin deschiderea contactului 9 *RI*1.

După ce s-a închis contactul 8 *RTp*1, se excită releele 8 *RI* și 10 *RI*, care se autoreține prin contactul 8 *RI*1. Prin contactul 13—14 al cheii *CA* și prin contactul 8 *RI*2 se trimite un impuls de declanșare la întreruptorul de pe medie tensiune al transformatorului T_1. Acest impuls se trimite în ideea că este posibil ca tensiunea de pe bare să fi dispărut din cauza deconectării liniei de 110 kV.

În continuare, prin contactul 15—16 al cheii *CA*, printr-un contact auxiliar al întreruptorului de pe medie tensiune și prin contactele 8 *RI*3, 8 *RI*4, se trimite impuls de anclanșare la întreruptoarele de medie și înaltă tensiune ale transformatorului T_2.

Releul de timp funcționează în continuare, își închide contactul 8 *RTp*2, care face să se excite releul 9 *RI* și se anulează impulsurile de declanșare și anclanșare.

În mod similar funcționează schema și în cazul în care transformatorul T_2 este în funcțiune și T_1 pregătit pentru AAR.

Nota red. Se atrage atenția că schemele de AAR prezentate nu sînt reversibile deoarece se bazează pe alegerea prealabilă a unui transformator „de serviciu" și a unui transformator „de rezervă", ceea ce ar putea ridica incoveniente în stațiile fără personal permanent de exploatare.

(Articol intrat în redacție la 9 iunie 1978)

Metodă operațională pentru determinarea traseelor optime în rețelele electrice urbane

Ing. A. Stănculescu*)

Deși institutele de specialitate prevăd în mediul urban sistematizări de perspectivă prin care se amplasează obiectivele edilitare și locuințele, nu se poate vorbi de stabilirea cu certitudine a unor reguli de ordonare teritorială a acestora, deoarece în practică, datorită apariției pe parcurs a unor diverși factori — de multe ori cu caracter aleatoriu —, aceste amplasamente se modifică față de cele prevăzute prin planuri.

În plus, datorită dezvoltării intensive a populației, mai apar, pe lîngă obiectivele prevăzute inițial, alte obiective noi, cum ar fi, spre exemplu, blocurile de locuințe prin îndesire printre blocurile existente.

Față de această situație, problema găsirii unor trasee optime pentru rețelele electrice este destul de complexă.

Amplasarea în mediul urban a centrelor de distribuție a energiei electrice — posturi de transformare și puncte de alimentare — se face ținînd seama de anumite condiții, impuse atît din punct de vedere tehnic, cît și avînd în vedere criterii de sistematizare teritorială.

Deci stabilirea unor trasee optime pentru rețelele electrice de medie și joasă tensiune constituie o problemă de bază pentru specialiști, atît sub aspect tehnic cît și economic.

Un caz frecvent întîlnit în practica urbană este cel al alimentării cu energie electrică a blocurilor de locuințe, care pot apărea sub formă de cvartale noi sau prin îndesire printre alte blocuri de locuințe existente. Alimentarea acestora cu energie electrică se poate face din posturile de transformare existente, precum și din posturile nou proiectate.

Din traseele rețelelor electrice care se oferă spre analiză, trebuie ales acel traseu optim care, printre alte criterii, trebuie să satisfacă și pe cel al unei lungimi minime.

Una dintre metodele operaționale moderne de stabilire a drumului minim, aplicată la rețelele electrice, este cea a lui J.D.C. Little, Murty, Sweeney și Karel.

Metoda Little și colaboratorii, cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de „branch and bound" (ramifică și mărginește), este o metodă iterativă, ușor de aplicat în practică.

Fie m obiective care trebuie alimentate cu energie electrică din S centre de distribuție în sistem intrare-ieșire, în bucle deschise în puncte de separație pe traseu, în așa fel încît alimentarea lor să se facă radial.

Notăm cu a_{ij} obiectivele în număr de n_{ij}, notate arbitrar după t și intercalate pe teren între centrele de distribuție S_i și S_j, care urmează a se alimenta cu energie electrică din aceste centre.

Cazul cel mai general întîlnit este acela al alimentării celor m obiective din centrele S_i și S_j prin rețele electrice noi, pe trasee de lungime minimă.

Deoarece problema alimentării cu energie electrică este simetrică, adică drumul între obiectivele i și j este identic cu drumul între obiectivele j și i, se introduce restricția ca în calcule să se considere doar o singură dată distanțele între obiectivele alimentate între centrele de distribuție S; cu alte cuvinte, dacă se consideră distanța între obiectivele a_{ij}^l și a_{ij}^p, nu se mai consideră și distanța între obiectivele a_{ij}^p și a_{ij}^l.

Se poate spune deci că obiectivele m formează un număr de C_s^2 grupe de obiective noi care solicită alimentarea cu energie electrică. S-a considerat de asemenea că obiectivele consumatoare se alimentează din două centre de distribuție diferite; cu alte cuvinte, dacă într-o buclă rețeaua electrică de joasă tensiune pleacă din sursa S_i, traseul său merge pînă la sursa S_j, nefiindu-i permis să se întoarcă direct tot la sursa S_i de plecare.

De aici se înțelege deci și faptul că trebuie să existe în sistem cel puțin două surse.

În cazul restricțiilor de mai sus există relația:

$$m = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{C_s^2} \sum_{j=1}^{C_s^2} n_{ij} \qquad (1)$$

Numărul total al elementelor care compun circuitul este dat de relația (2):

$$n = m + S = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{C_s^2} \sum_{j=1}^{C_s^2} n_{ij} + S \qquad (2)$$

Dacă, spre exemplu, avem cazul a trei posturi de transformare, notate cu S_1, S_2 și S_3, între care sînt intercalați consumatorii în felul următor:

$S_1 - S_2 \rightarrow n_{12} = 4$, și anume a_{12}^1, a_{12}^2, a_{12}^3 și a_{12}^4.

$S_1 - S_3 \rightarrow n_{13} = 3$ $\quad a_{13}^1, a_{13}^2, a_{13}^3$.

$S_2 - S_3 \rightarrow n_{23} = 6$ $\quad a_{23}^1, a_{23}^2, a_{23}^3, a_{23}^4, a_{23}^5, a_{23}^6$.

Într-adevăr după relația (1):

$$m = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{C_3^2} \sum_{j=1}^{C_3^2} n_{ij} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{3} \sum_{j=1}^{3} n_{ij} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{3} (n_{i1} + n_{i2} + n_{i3}) = n_{12} + n_{13} + n_{23} = 13,$$

iar $n = m + S = 13 + 3 = 16$.

Circuitul complet va arăta în felul următor: S_1(prin a_{12}^1, $a_{12}^2 \ldots a_{12}^4$) spre S_2 (prin a_{13}^1, $a_{13}^2 \ldots$) spre S_3 (prin a_{23}^1, $a_{23}^2 \ldots a_{23}^6$) spre S_1.

*) Ing. Adrian Stănculescu este inginer în cadrul IRE Craiova.

Alimentarea celor 13 consumatori se face în trei bucle deschise (radial); de exemplu, bucla 2 de alimentare între S_2 și S_3 poate fi de forma $S_2 - a_{13}^1$ și $a_{13}^2 - a_{13}^3 - S_3$, deci deschisă între consumatorii a_{13}^1 și a_{13}^2.

Observație. Între a_{13}^1 și a_{13}^2 există un circuit electric care se ia în considerație în calculul drumului minim, care se poate pune în funcțiune în caz de avarie a unuia din centrele de distribuție S_1 sau S_2.

Un alt caz este acela al alimentării cu energie electrică prin trasee minime a unor consumatori noi, intercalați printre cei existenți. În această situație, deducerea traseului minim se face numai pentru consumatorii nou apăruți, fără să se ia în considerare lungimile existente de traseu, care în final se adaugă peste traseul minim obținut pentru obiectivele noi.

În articolul de față se analizează în detaliu numai prima situație, și anume cazul consumatorilor noi, nealimentați cu energie electrică.

Fie un teritoriu T în care se efectuează analiza și în care se găsesc r surse $S_1, S_2 \ldots, S_{r-1}, S_r$, între care se află intercalați m consumatori de energie electrică.

Se notează cu d_{kl} distanța minimă pe care se poate amplasa un circuit electric între două elemente (surse sau consumatori) din teritoriu.

Problema se rezolvă astfel:

Se întocmește matricea pătratică a distanțelor $[D]$, având n linii și tot atîtea coloane, cu restricția elementului general $d_{ij} = 00$, dacă nu există drum între i și j (un exemplu de acest fel, $i = j$, $d_{ii} = d_{jj} = 00$). Elementul d_{kl} se află la intersecția liniei k cu coloana l.

Pașii algoritmului sînt următorii:

$]D]=$

	S_1	a_{12}^1	a_{12}^2	....	S_2	a_{23}^1	a_{23}^2	...	$a_{r-1,r}^t$	d_i
S_1	00	d_{12}	d_{13}	....	....	.....	.....	....	d_{1n}	d_1
a_{12}^1	d_{12}	00								d_2
a_{12}^2	d_{13}	d_{23}	00							d_3
. . .	. . .			00		d_{kl}				d_k
S_2	. .				00					. .
a_{23}^1	. .					00				. .
a_{23}^2	. .						00			. .
. . .	. .									. .
$a_{r-1,r}^t$	. .								00	d_n

Fig. 1. Matricea $[D]$.

— *Pasul 01.* Se reduce matricea $[D]$ pînă se obține un zero în fiecare linie și fiecare coloană.

Reducerea se efectuează astfel:

— *Pasul 01.1.* Fie $d_i = \min\limits_j d_{ij} \neq 0$, adică se alege de pe fiecare linie elementul minim care se înscrie în coloana d_i din dreapta matricei $[D]$.

— *Pasul 01.2.* Fie $d_m = \min\limits_i d_i = \min\limits_i \min\limits_j d_{ij}$ (3) adică, din coloana d_i se alege elementul minim, fie acesta d_m, care se află în linia m.

— *Pasul 01.3.* Se scade din fiecare element al liniei m valoarea d_m; pentru a păstra simetria matricei rezultante, se scade în același timp și din fiecare element al coloanei m aceeași valoare d_m.

Se obține astfel matricea redusă $[D']$, care în mod sigur va avea undeva pe linia m/coloana m un zero (fig. 2).

— *Pasul 01.4.* Se procedează cu matricea $[D']$ analog cu pasul 01.1, găsindu-se un $d'_i = \min\limits_j d_{ij} \neq 0$.

— *Pasul 01.5.* Se procedează cu matricea $[D']$ analog cu pasul 01.2, găsindu-se un $d'_m = \min\limits_i d'_i = \min\limits_i \min\limits_j d_{ij}$.

— *Pasul 01.6.* Se procedează cu matricea $[D']$ analog cu pasul 01.3, obținîndu-se o matrice redusă $[D'']$.

— *Pasul 01.3n.* Se procedează cu matricea $[D^{n-1}]$ analog cu pasul 01.3, obținîndu-se o matrice redusă $[D^n]$. Această matrice va avea în mod sigur cel puțin cîte un element nul în fiecare linie k și coloană l situat în căsuța kl a matricei respective.

Deoarece din fiecare vîrf (element) pleacă sau sosesc cel puțin două muchii, în total circuitul s-a redus cu valoarea:

$$r = 2 \sum_{i=1}^{n} \min_j d_{ij} \qquad (4)$$

Pentru ușurința notațiilor vom renota distanțele matricei $[D^n]$ sub forma d_{jk} pentru intersecția liniei j cu coloana k.

— *Pasul 02.* Se partiționează $[D^n]$ în două submulțimi: una notată cu m, care se bucură de proprietatea $P_{t,p}$ de a conține drumul între elementele a_{ij}^t și a_{ij}^p, și cealaltă submulțime notată cu $\overline{m}$, care are proprietatea contrară.

Cu alte cuvinte, submulțimea $\overline{m}$ neavînd conținut drumul între elementele a_{ij}^t și a_{ij}^p, pentru a ajunge de la a_{ij}^t la a_{ij}^p va trebui ca în cadrul acestei submulțimi să se folosească un alt drum, în care intră două muchii adiacente vîrfurilor t și p; fie acestea muchiile de valori minime care s-au găsit între a_{ij}^t și a_{ij}^z și respectiv

coloana m

		S_1	a_{12}^1	a_{12}^2	....	S_2	a_{23}^1	a_{23}^2	....	$a_{r-1,r}^t$	d_i'
	S_1	00	d_{12}	d_{13}	....	....	$d_{1m}-d_m$	....	...	d_{1n}	d_1'
	a_{12}^1	d_{12}	00	....	.....	...	$d_{2m}-d_m$	....	....	....	d_2'
	a_{12}^2	d_{13}	d_{23}	00	....	....	$d_{3m}-d_m$	....	.....	....	d_3'
	. . .	...	...	....	00	....	....	.....	....	....	d_k'
$[D']=$	S_2	...	...	...	..	00	...	....	....	....	. .
Linia m	a_{23}^1	$d_{1m}-d_m$	$d_{2m}-d_m$	$d_{3m}-d_m$	...	...	00	$d_m-d_m=0$	..	$d_{nm}-d_m$	zero
	a_{23}^2	...	.....	.....	....	....	$d_m-d_m=0$	00	...	....	. .
	. . .										. .
	$a_{r-1,r}^t$	...	....	.....	....	....	$d_{nm}-d_m$	.....	...	00	d_n'

Fig. 2. Matricea $[D']$.

între a_{ij}^h şi a_{ij}^p (fig. 3), determinate astfel: în matricea $[D^n]$ elementul a_{ij}^t se află pe linia k, iar elementul a_{ij}^p pe coloana l.

Coloana r Coloana l

			a_{ij}^z		a_{ij}^p		
	00	d_{12}	. .		. .		d_{1n}
	d_{21}	00	. .		. .		
			00		. .		
Linia k	a_{ij}^t	...	..... d_{kr}	00	$d_{kr}+d_{q1}$ (zero)		
$[D_n]=$					00		
Linia q	a_{ij}^h	.....	....	.....	d_{q1}	00	
		d_{n1}					d_{nn}

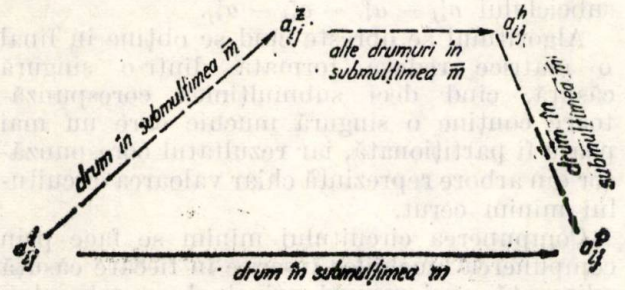


Fig. 3.

La intersecţia liniei k cu coloana l, se găseşte în căsuţa kl un element nul. Aflîndu-ne în cadrul submulţimii $\overline{m}$, în continuare vom excepta căsuţa kl şi vom alege pe linia k elementul de valoare minimă d_{kr}, pe care îl găsim la intersecţia liniei k (elementul a_{ij}^t) cu coloana r (elementul a_{ij}^z), care reprezintă muchia de valoare minimă între a_{ij}^t şi a_{ij}^z; analog se alege pe coloana l elementul de valoare minimă d_{q1}, pe care îl găsim la intersecţia coloanei l (elementul a_{ij}^p) cu linia q (elementul a_{ij}^h), care reprezintă muchia de valoare minimă între a_{ij}^h şi a_{ij}^p (ceea ce, ca valoare absolută, este tot una cu muchia a_{ij}^z şi a_{ij}^h).

De fapt distanţa între a_{ij}^t şi a_{ij}^z este chiar $\min\limits_j d_{kj} \neq d_{k1}$, iar distanţa între a_{ij}^h şi a_{ij}^p este chiar $\min\limits_i d_{i1} \neq d_{k1}$.

Suma celor două muchii minime este $(\min\limits_j d_{kj} + \min\limits_i d_{i1})$, care se înscrie în stînga sus la căsuţa kl cu element nul; analog se procedează pentru toate căsuţele kl cu elemente nule din matricea $[D^n]$.

— *Pasul 03.* Din toate căsuţele zero kl, se alege căsuţa care are înscrisă în stînga sus cea mai mare valoare a sumei $(\min\limits_j d_{kj} + \min\limits_i d_{i1})$, deci:

$$d_M = \max_i \max_j (\min_j d_{kj} + \min_i d_{i1}) \qquad (5)$$

Dacă există mai multe asemenea căsuţe, se alege una dintre ele în mod arbitrar.

— *Pasul 04.* Se calculează acum marginile inferioare θ și $\overline{\theta}$ ale submulțimilor m și $\overline{m}$ în felul următor:

— *Pasul 04.1.* Pentru submulțimea $\overline{m}$ valoarea marginii $\overline{\theta}$ se calculează cu relația:

$$\overline{\theta} = r + d_M \qquad (6)$$

— *Pasul 04.2.* Pentru submulțimea m valoarea marginii θ se calculează eliminînd mai întîi linia k și coloana l, care conțin elementul de intersecție kl nul, avînd înscris în stînga sus valoarea d_M.

Aplicăm apoi restricția cauzată de utilizarea drumului opus între elementele a_{ij}^p și $a_{ij}^t = 00$, pentru a nu ne întoarce de unde am plecat fără să parcurgem și celelalte elemente.

Se efectuează în continuare, în matricea restricționată, o reducere similară cu cea de la pasul 01, cu deosebirea că de data aceasta nu trebuie respectată condiția ca aceleași elemente să fie scăzute de două ori, atît din linii cît și din coloane.

Într-adevăr, dacă vom considera o matrice $[D^n]$ (fig. 4) care are elementul zero cu d_M

Coloana k Coloana l

$[D^n]=$						
	00	d_{12}	d_{13}	...	...	d_{1n}
	d_{21}	00				
	d_{31}		00			
Linia k	...	...	...	d_M (zero)	00	...	...
Linia l	...	...	00	...	...	00	
	d_{n1}	...	...	...	...	d_{nn}

Fig. 4.

în căsuța kl, eliminînd linia k și coloana l și făcînd $d_{lk} = 00$, dacă spre exemplu $d_{lk} = 0$ era singurul zero pe linia l, această linie l a rămas fără zero, și deci va trebui să scădem din linia l o valoare $min\ d_{lj}$ pentru a obține cel puțin un zero în această linie.

Pentru a menține simetria matricei, ar însemna să scădem și din coloana l aceeași valoare (ca la pasul 01); dar această operație nu are sens, întrucît coloana l a dispărut a pasul 04.2.

Deci este suficient să scădem doar valoarea $\min\limits_j d_{lj}$ din linia l.

Fie r_{qz} valoarea totală scăzută din liniile și coloanele matricei datorită căreia am obținut cîte un zero în fiecare linie și fiecare coloană.

Valoarea marginii inferioare θ va fi:

$$\theta = r + r_{qz}, \qquad (7)$$

în care r a fost determinat cu relația (4), iar matricea obținută se notează cu $[D_n']$.

Se începe construcția arborelui (fig. 5).

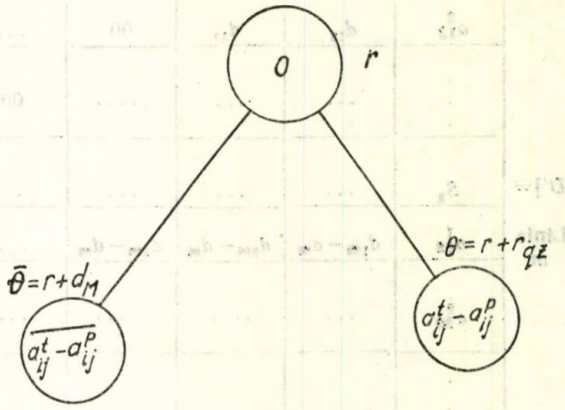


Fig. 5

Din examinarea arborelui obținut se pot întîlni următoarele trei cazuri:

$$r + d_M > r + r_{qz} \quad \text{(cazul 1)}$$

$$r + d_M = r + r_{qz} \quad \text{(cazul 2)}$$

$$r + d_M < r + r_{qz} \quad \text{(cazul 3)}$$

În cazul 1 se continuă partiționarea cu submulțimea din partea dreaptă, adică cu cea care conține drumul $a_{ij}^t - a_i^p$ prin aplicarea pasului 02.

În cazul 3 se aplică restricția $a_{ij}^t - a_{ij}^p = 00$, de neexistență în submulțime a acestui drum, apoi se reduce matricea similar ca la pasul 01, după care se aplică pasul 02.

În cazul 2 partiționarea se continuă cu ambele submulțimi.

Pe parcurs se va introduce de fiecare dată, după caz, restricția suplimentară care interzice formarea unui subciclu.

Astfel, de exemplu, dacă se găsește în circuitul minim drumul format din muchiile $a_{ij}^t - a_{ij}^p - a_{ij}^r$, va trebui introdusă la această etapă restricția $a_{ij}^r - a_{ij}^t = 00$, pentru evitarea formării subciclului $a_{ij}^t - a_{ij}^p - a_{ij}^r - a_{ij}^t$.

Algoritmul se oprește cînd se obține în final o matrice redusă formată dintr-o singură căsuță, cînd deci submulțimea corespunzătoare conține o singură muchie care nu mai poate fi partiționată, iar rezultatul corespunzător din arbore reprezintă chiar valoarea circuitului minim cerut.

Compunerea circuitului minim se face prin compunerea muchiilor înscrise în fiecare căsuță adiacentă unei ramuri principale a arborelui.

Aplicație. Se consideră cazul unui cvartal de blocuri de locuințe în care se află în prezent două posturi de transformare — PT_2 și PT_6 — și un număr de blocuri de locuințe existente, și anume: blocurile 80, 74, 75, 73, 72, 26 și centrala termică. Printre aceste blocuri mai apar prin îndesire blocurile: A_2, C_1, B, A_1, A_3 și E_1.

Pentru satisfacerea unui nivel de tensiune normal, datorită apariției noilor consumatori, mai este necesar să se construiască un post de transformare în zona respectivă, notat cu PT_{pr}.

Dorim să determinăm un traseu minim pentru rețelele electrice noi de joasă tensiune în zona respectivă.

Deoarece blocurile care se construiesc prin îndesire urmează să se lege la posturile de transformare existente, prin buclele de joasă tensiune existente, în alcătuirea matricei distanțelor vom include toate blocurile de locuințe, atît cele noi cît și cele existente.

Va trebui însă ca, în determinarea distanțelor rețelelor de joasă tensiune între obiective să se țină seama de rețelele electrice de joasă tensiune care se mențin și care vor fi măsurate pe traseele actuale, iar distanțele de trasee noi vor fi doar acelea pentru care rețelele electrice trebuie înlocuite sau pentru cele noi pozate.

În baza acestor considerente, se alcătuiește matricea distanțelor $[D]$ (fig. 6).

Algoritmul se dezvoltă astfel:

— *Pasul 01*:

— *01.1.* Se alcătuiește coloana elementelor d_i, care se înscrie în dreapta matricei $[D]$.

— *01.2.* Elementul $d_m = 40$ și corespunde liniei cu numărul 16 (CT).

— *01.3.* Se scade din elementele liniei/coloanei CT valoarea egală cu 40. Se obține matricea $[D']$ cu un zero în linia/coloana lui CT.

— *01.4.* Se procedează cu matricea $[D']$ analog cu pasul 01.1, alcătuindu-se coloana elementelor d'_i, care se înscrie la fel, în dreapta matricea $[D']$.

— *01.5.* Se găsește un $d'_m = 5$ și corespunde liniei cu numărul 3 (B).

— *01.6.* Se procedează cu matricea $[D']$ analog cu pasul 01.3, obținîndu-se o matrice redusă $[D'']$.

Dacă se recapitulează toți cei $6n$ pași precedenți, se constată că în matricea $[D]$ s-au efectuat reducerile următoare:

$40(CT)$; $5(B)$; $25(72)$; $30(75)$; $45(A_2)$; $45(A_1)$; $50(80)$; $30(PT_6)$; $55(A_3)$; $35(26)$; $80(E_1)$; $35(73)$.

În total matricea s-a redus cu valoarea $2 \times 475 = 950$.

— *Pasul 02.* În matricea $[D^n]$ se înscrie, în stînga sus, la fiecare căsuță kl cu element nul valoarea sumei $(\min_j d_{kj} + \min_i d_{i1})$.

$[D] =$

	A_2	C_1	B	PT_6	80	A_1	74	75	PT_2	73	72	A_3	26	E_1	PT_{pr}	CT	d_i
A_2	00	100	95	180	160	90	100	75	135	115	125	100	160	250	265	120	75
C_1	100	00	50	240	230	150	155	75	45	125	50	115	170	260	170	40	40
B	95	50	00	230	215	145	160	80	50	115	95	105	165	255	205	45	45
PT_6	180	240	230	00	80	125	90	180	210	245	280	235	295	385	220	215	80
80	160	230	215	80	00	100	50	155	190	220	260	210	270	365	385	195	50
A_1	90	150	145	125	100	00	110	85	120	155	195	150	210	300	310	135	85
74	100	155	160	90	50	110	00	95	130	165	205	160	220	310	320	145	50
75	75	75	80	180	155	85	95	00	55	150	115	135	195	285	240	70	55
PT_2	135	45	50	210	190	120	130	55	00	150	85	135	200	290	215	40	40
73	115	125	115	245	220	155	165	150	150	00	165	90	150	240	250	145	90
72	125	50	95	280	260	195	205	115	85	165	00	85	145	235	150	650	50
A_3	100	115	105	235	210	150	160	135	135	90	85	00	90	180	195	140	85
26	160	170	165	295	270	210	220	195	200	150	145	90	00	150	210	210	90
E_1	250	260	255	385	365	300	310	285	290	240	235	180	150	00	80	300	80
PT_{pr}	265	170	205	220	385	310	320	240	215	250	150	195	210	80	00	190	80
CT	120	40	45	215	195	135	145	70	40	145	65	140	210	300	190	00	40

Fig. 6 Matricea $[D]$.

— *Pasul 03.* Cea mai mare valoare a sumei de mai sus se află în matricea $[D^n]$ în căsuța de la intersecția liniei PT_{pr} cu coloana E_1, și anume $d_M = 160$.

— *Pasul 04.1.* Pentru submulțimea $\overline{m}$, valoarea marginii $\overline{\theta}$ este, în conformitate cu relația (6), egală cu:

$$\overline{\theta} = 950 + 160 = 1110.$$

— *Pasul 04.2.* Se elimină linia $k = 15$ (PT_{pr}) și coloana $l = 14$ (E_1).

Se introduce restricția $E_1 - PT_{pr} = 00$ și se efectuează reducerea matricei $[D^n]$, scăzînd din linia 14 (E_1) valoarea 35 și din coloana 15 (PT_{pr}) valoarea 125; în total deci 160. Se obține matricea $[D_1^n]$.

Valoarea marginii inferioare θ a mulțimii m va fi, după relația (7), egală cu $950 + 160 = 1110$.

Se începe construcția arborelui din figura 7.

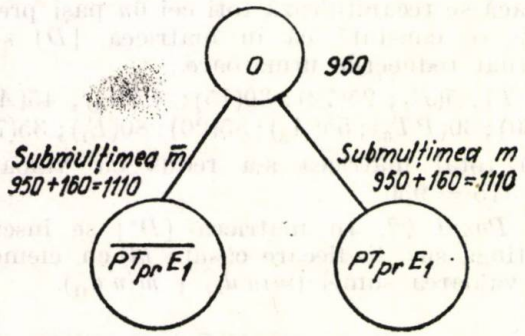


Fig. 7

Situîndu-ne în cazul 2, se continuă partiționarea cu ambele submulțimi.

— *Pentru submulțimea* m. Se aplică în matricea $[D_1^n]$ pasul 02, apoi pasul 03 și se găsește pentru matricea $[D_1^n]$, după relația (5), valoarea $d_M = 55$ în linia 7 (74) și coloana 5 (80).

Din aplicarea pasului 04 se găsesc două submulțimi, $\overline{m}_1$ și m_1.

Pentru submulțimea $\overline{m}_1$, valoarea marginii $\overline{\theta}_1$ se calculează cu relația:

$$\overline{\theta}_1 = 1110 + 55 = 1165.$$

Pentru submulțimea m_1 se aplică pasul 04.2, eliminînd mai întîi linia 7 (74) și coloana 5 (80); se aplică restricția $80 - 74 = 00$, după care se reduce matricea astfel obținută prin scăderea din linia 4 (PT_6) a valorii 5 și din coloana 7 (74) a valorii 55; în total 60.

Se obține, pentru submulțimea m_1, marginea $\theta_1 = 1110 + 60 = 1170$.

— *Pentru submulțimea* $\overline{m}$. Se aplică în matricea $[D^n]$ restricția PT_{pr} — bloc $E_1 = 00$ (de neconținere a drumului).

Se reduce matricea $[D^n]$ cu 160 și se găsește o matrice $[\overline{D}_1^n]$ cu $d_M = 55$ în linia 7 (74) și coloana 5 (80).

Din aplicarea pasului 04 în această situație se găsesc două submulțimi, $\overline{m}_2$ și m_2, cu următoarele margini inferioare:

— *pasul 04.1.* $\overline{\theta}_2 = 1110 + 55 = 1165$

— *Pasul 04.2.* În matricea $[\overline{D}_1^n]$ se elimină mai întîi linia 7 (74) și coloana 5 (80), se aplică restricția $80 - 74 = 00$, după care se reduce matricea astfel obținută prin scăderea din linia 4 (PT_6) a valorii 5 și din coloana 7 (74) a valorii 55; în total 60.

Deci marginea $\theta_2 = 1110 + 60 = 1170$.

Pînă la această etapă, arborele este reprezentat în figura 8.

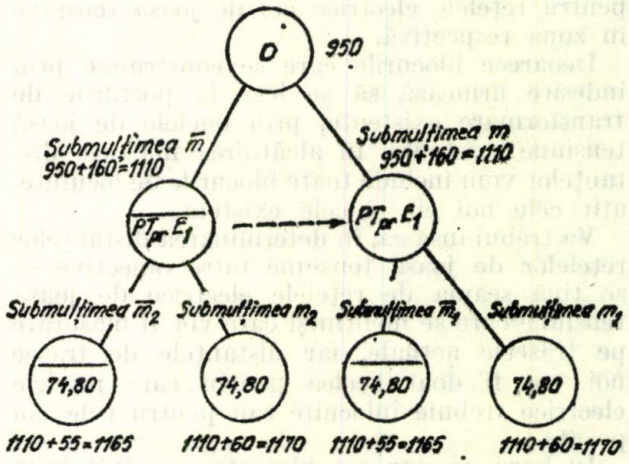


Fig. 8

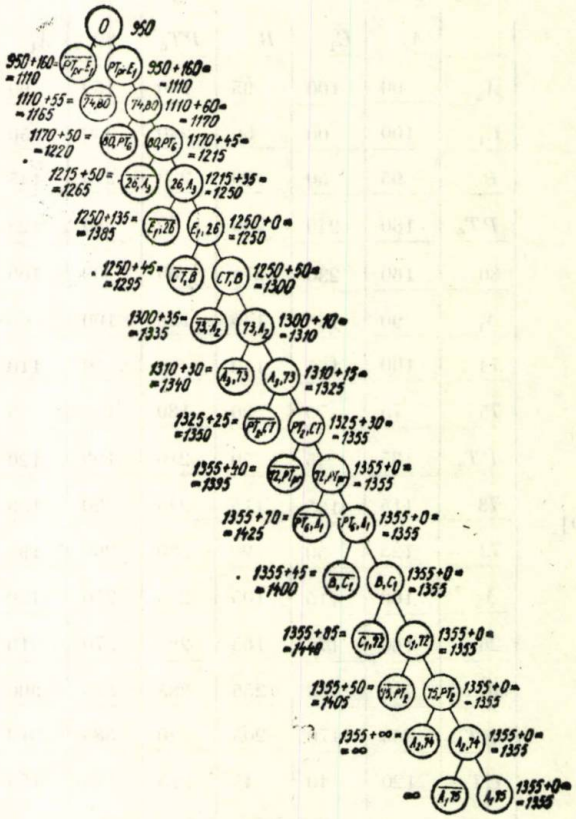


Fig. 9

Din examinarea acestui arbore se constată că neutilizarea drumului $PT_{pr}E_1$ (reprezentat prin $\overline{PT_{pr}E_1}$) conduce la aceeași soluție ca și utilizarea primului drum optim, care nu este altul decît chiar $PT_{pr}E_1$.

Dacă am dori să impunem restricția suplimentară ca și E_1PT_{pr} să fie neutilizabil (00), această restricție ar conduce la mărirea drumului, prin utilizarea de reduceri suplimentare în matrice.

Deci unicul drum optim care trebuie analizat este cel din dreapta grafului, și anume cu utilizarea lui $PT_{pr}E_1$.

Analog se procedează pînă la finele ciclului, cînd se obține arborele din figura 9, iar drumul optim între obiective este :

PT_{pr} — bl. E_1 — bl. 26 — bl. A_3 — bl. 73 — bl. A_2 — bl.74 — bl. 80 — PT_6 — bl. A_1 — bl. 75 — PT_2 — CT — bl. B — bl. C_1 — bl. 72 — PT_{pr} = 1350.

Dacă revenim la relațiile (1—2) anterioare, în situația de față avem :

$S_1 - PT_{pr}$; $n_{12} = 7$

$S_2 - PT_6$; $n_{23} = 2$ $\quad n = m + S = 16$

$S_3 - PT_2$; $n_{31} = 4$

$m = 13$

În alimentare normală, bucla $PT_{pr} - PT_6$ funcționează deschis între blocul A_3 — blocul 73, bucla $PT_6 - PT_2$ între blocul A_1 — blocul 75 și bucla $PT_2 - PT_{pr}$ între blocul B — blocul C_1.

Din trecutul electrificării României

Electrificarea județului Brașov*)

Ing. C. Morțun

Județul Brașov cuprinde : un municipiu — Brașov, reședința județului, opt orașe — Codlea, Făgăraș, Predeal, Rîșnov, Rupea, Săcele, Victoria, Zărnești, 43 comune (una suburbană) și 150 sate.

Relieful este variat : în sud cei mai înalți munți din țară — masivele Făgăraș și Bucegi, în nord podișul transilvan, la centru Țara Bîrsei și a Făgărașului, despărțite prin culmile joase ale Munților Perșani. Județul Brașov are o bogată rețea de ape, formată din riul Olt cu afluenții săi : Baraolt, Vărghiș, Homorod, Ghimbav, Șercaia, Sebeș, Ucea, Vîștea, Timiș, Tărlungu, Rîșnov, Bîrsa și alții. Suprafața este împărțită între păduri, pășuni, fînețe și teren arabil, care în Țara Bîrsei este deosebit de fertil. Agricultura și zootehnia s-au practicat totdeauna la un înalt nivel productiv. Subsolul conține cărbuni, calcare și argile refractare, materiale de construcții, ape minerale etc.

Principala trăsătură economică a județului Brașov din perioada introducerii electricității o constituie dezvoltarea micii industrii, cu numeroase ramuri și sectoare de producție avînd rădăcini adînci în trecut, în activitatea breslelor meșteșugărești, în special a celor din cetatea medievală a Brașovului. Produsele acestor meșteșugari, vestitele „brașovenii", erau desfăcute pe teritorii foarte întinse și cu precădere în țările române, cu care cetatea Brașovului a avut puternice legături economice și culturale. Datorită poziției geografice deosebit de favorabile, în perioada industrializării capitaliste au apărut numeroase unități industriale, dintre care cele din metalurgie și construcțiile de mașini s-au afirmat puternic. Pot fi citate din această perioadă : fabrica de laminat și tras metale „Farola", întreprinderile metalurgice „Voina", fabrica metalurgică „Metrom", fabricile de vagoane și motoare „Astra", fabrica de avioane „IAR" etc. Unități industriale importante s-au instalat și în alte localități din județ : Făgăraș — chimie, Zărnești — celuloză-hîrtie, Victoria — chimie, metalurgie, construcții de mașini, Bod — industria zahărului, Dîrste — industria berii etc.

Prezența acestor industrii a făcut posibilă introducerea relativ de la început a electricității. În 1896 apare prima centrală electrică, la fabrica de produse chimice din Brașov (astăzi Rafinăria Brașov), iar în 1898, la industria forestieră „Lomaș" din Homorod.

În primii ani ai secolului nostru apar numeroase alte centrale electrice industriale în orașul Brașov și în alte localități, ca : Fabrica de bomboane „Stollwerk" — Brașov (1903), Fabrica Colorom — Codlea (1904), Fabrica de hîrtie Zărnești (1906), Fabrica de postav „Thälmann" — Brașov (1908), Fabrica de celuloză Zărnești (1908), Fabrica de bere — Dîrste (1908), Fabrica de ciment „Kugler" — Brașov (1912) etc.

Cu toate posibilitățile oferite de condițiile naturale și de dezvoltarea industrială, începutul electrificării localităților din județul Brașov s-a produs mai tîrziu decît al celor din unele județe vecine (Sibiu, Mureș, Prahova).

Primul oraș electrificat din județul Brașov a fost Codlea, în 1903, urmat de Făgăraș în 1904, Zărnești și Rîșnov în 1911, Rupea în 1913, Săcele în 1923, Predeal în 1927 și Victoria în 1939—1940.

Municipiul Brașov a fost electrificat abia în 1933, fiind astfel ultimul oraș electrificat dintre orașele mari ale țării.

Prima localitate rurală electrificată a fost Homorod, în 1906 ; a urmat Hălchiu în 1908 și apoi grupul de sate electrificate în 1911 prin alimentarea din CHE Rîșnov : Cristian, Ghimbav, Stupini, Sînpetru.

Construirea în această perioadă a unei serii de centrale hidro- și termoelectrice a pus, pe de o parte, problema alimentării a cît mai mulți consumatori din regiune, iar pe de altă parte problema întrajutorării acestor centrale în vederea funcționării mai sigure și mai economice a lor. În felul acesta a luat ființă rețeaua electrică de distribuție regională de interconexiune de înaltă tensiune din județul Brașov.

Rețeaua electrică de distribuție regională din județul Brașov. În 1909 orașul Rîșnov — pe atunci comună rurală — și încă zece sate din regiune s-au asociat în vederea electrificării. Din aceste zece sate, opt aparțin astăzi județului Brașov : Cristian, Ghimbav, Stupini, Sînpetru, Hărman, Bod, Feldioara, Rotbav, iar celelalte două — Araci și Hăghig — județului Covasna. Proiectul electrificării acestor localități prevedea producerea energiei electrice în centrala hidroelectrică Rîșnov și distribuirea ei celor zece localități printr-o rețea trifazată de 15 kV, cu posturi de transformare de 15 000/380/220 V și rețele de distribuție de joasă tensiune de 380/220 V.

În 1911 s-au terminat și pus în funcțiune primele instalații care au permis alimentarea cu energie electrică a cinci locali-

*) Fragment din lucrarea „Istoria electrificării României", elaborată de un colectiv sub conducerea prof. univ. emerit C. Dinculescu, ce urmează să apară.

tăți : orașul Rîșnov și satele Cristian, Ghimbav, Stupini și Sînpetru. Aceste instalații constau din :

— primul grup în CHE Rîșnov (denumită ulterior Rîșnov I), format din turbină Francis 230 CP, generator 160 kVA, 6 300 V trifazat, 50 Hz ;

— LEA de 15 kV CHE Rîșnov-Sînpetru, de aproximativ 35 km ;

— posturile de transformare 15 000/380/220 V și primele rețele de distribuție în cele cinci localități electrificate.

În 1912, în apropierea satului Cristian s-a construit CHE Vulcan, pe rîul Vulcănița, în scopul alimentării fabricii de ciment „Kugler" din Brașov (astăzi „Temelia").

CHE Vulcan a fost echipată cu două grupuri identice : turbină Francis 540 CP și generator 450 kVA 8500 V trifazat, 50 Hz. De la stația de 8,5/15 kV a centralei, o linie de 15 kV, de aprox. 15 km, alimenta fabrica de ciment din Brașov printr-o stație de 15/0,24 kV. Din considerente tehnice și economice s-a făcut interconexiunea celor două CHE — Rîșnov I și Vulcan — printr-o stație de conexiuni în punctul Cristian, unde cele două linii de 15 kV se încrucișau.

În preajma și în timpul primului război mondial, lucrările pentru realizarea integrală a CHE Rîșnov I și pentru alimentarea restului de șase sate au stagnat, fiind reluate abia după terminarea războiului, cînd CHE Rîșnov I a fost adusă la puterea proiectată de 1030 CP, instalîndu-se succesiv :

— în 1921 : un grup turbină Francis 500 CP, 456 kVA, 6300 V trifazat, 50 Hz ;

— în 1933 : un grup turbină Francis 300 CP, 160 kVA, restul caracteristicilor la fel.

Dezvoltarea industrială a orașului și județului Brașov imediat după primul război mondial a necesitat și dezvoltarea bazei electroenergetice. Astfel s-a pus în funcțiune în 1929 în municipiul Brașov Centrala de forță pentru industrie (IKZ, actuală CTE nr. 2 Brașov), echipată inițial cu un turbogenerator de 1830 kW 400 V c.a. trifazat, 50 Hz, amplificată ulterior cu încă un turbogenerator de 3000 kW. IKZ deservea un grup de industrii din orașul Brașov, fiind interconectată cu CHE Rîșnov I și CHE Vulcan prin rețeaua regională de 15 kV, iar printr-o LEA de 15 kV, de circa 14 km, Brașov—Bod, construită în 1930, a fost interconectată și cu centrala termoelectrică cu turbine cu abur a Fabricii de zahăr Bod (4850 kW). Linia de 15 kV Brașov — Bod încrucișîndu-se în punctul Stupini cu LEA 15 kV Rîșnov — Sînpetru, s-a construit în punctul de intersecție o nouă stație, interconectîndu-se astfel mai strîns toate centralele care debitau în rețeaua regională de 15 kV.

Tot în anul 1929 s-au reluat lucrările pentru alimentarea celorlalte șase sate din asociația Rîșnov, construindu-se LEA de 15 kV de la Sînpetru, prin Bod — Araci — Feldioara — Hăghig la Rotbav, precum și LEA 15 kV Sînpetru — Hărman — Prejmer, în punctul final interconectîndu-se la rețeaua de 15 kV și CHE Prejmer, construită în 1914 și echipată cu un grup hidro de 80 CP.

În 1930, pentru a ridica gradul de siguranță în funcționare, au fost interconectate la rețeaua de 15 kV și CHE Codlea, de 150 kW, construită în 1903 pentru alimentarea orașului Codlea, precum și CHE Colorom—Codlea, de 135 kW, construită în 1904 pentru alimentarea fabricii cu același nume.

În sfîrșit, în 1933 se pune în funcțiune și centrala termoelectrică a orașului Brașov (actuală CTE nr. 1), cu o putere totală instalată de 5800 kW, care se interconectează de la început cu centrala IKZ, respectiv cu rețeaua de 15 kV din regiune.

În aceeași perioadă, în anii 1935—1936, s-a construit, la aprox. 4 km în aval de centrala hidroelectrică Rîșnov I, o nouă centrală hidroelectrică (Rîșnov II), pusă în funcțiune în 1936, cu puterea totală de 1928 CP, formată din : un grup de 805 CP 585 kVA 400 V trifazat, 50 Hz și un grup de 493 CP 360 kVA, restul caracteristicilor la fel. Centrala a fost interconectată la rețeaua regională de 15 kV din momentul punerii ei în funcțiune. În felul acesta, la sfîrșitul anului 1938 se găseau interconectate la rețeaua regională de 15 kV un număr de nouă centrale : Rîșnov I și II, Vulcan, IKZ, Prejmer, Fabrica de zahăr Bod, Codlea, Colorom—Codlea și UE Brașov, cu o putere totală instalată de aprox. 18 500 kW.

Cu toate acestea, situația energetică a orașului Brașov a rămas în continuare dificilă. Pentru a fi ușurată, în 1933 s-a stabilit o legătură de alimentare și din rețeaua Soc. „Electrica" de pe Valea Prahovei. În acest scop, LEA de 25 kV Azuga — Dîrste, construită în 1928 pentru interconectarea cu CHE Tărlungul, în stația 25/6 kV Dîrste, a fost prelungită pînă la UE Brașov (CTE nr. 1), unde s-a instalat o stație de 25/6 kV, care permitea un schimb de 2,2 MW.

În timpul primului război mondial, comunele Baciu, Turcheș, Cernat și Satulung din zona Săcele, a celor „șapte sate", au contractat cu un specialist din Budapesta proiectarea și conducerea lucrărilor necesare pentru electrificarea acestor comune. Lucrările, ca și exploatarea electricității în comune urmau să se facă prin Societatea „Tatráymüvek", constituită în acest scop. Pentru producerea electricității, proiectul prevedea construirea unei hidrocentrale pe rîul Tărlungu. Lucrările de la centrală au început în timpul războiului, dar au mers foarte greu, rămînînd neterminate. În 1920, după dezmembrarea imperiului austro-ungar, s-a lichidat societatea concesionară, cele patru comune rămînînd proprietare pe materialele și lucrările realizate. În 1921, în baza unei înțelegeri cu societatea de specialitate „Electrica" din Cîmpina, lucrările au fost reluate. Între timp, cele patru comune, împreună cu Soc. „Electrica"—Cîmpina și SA „Creditul pentru întreprinderi electrice" din București au constituit, în august 1922, Societatea „Tărlungul", avînd drept prim obiectiv terminarea lucrărilor de la centrală și electrificarea celor patru comune.

În această nouă formulă s-a reușit ca la 15 martie 1923 să se pună în funcțiune primul grup din centrala Tărlungu : turbină Francis 400 CP și generator Ganz 300 kVA 6500 V trifazat, 50 Hz și prima tranșă din LEA 6 kV de alimentare a celor patru sate : Baciu, Turcheș, Cernat și Satulung. În 1928 s-a instalat și al doilea grup din centrală : turbină Francis 450 CP și generator Reșița 350 kVA 6500 V trifazat, 50 Hz. Puterea relativ importantă instalată în CHE Tărlungu (650 kVA) și consumul redus al celor patru sate au condus la măsura luată în 1929 pentru interconectarea acestei centrale cu rețeaua 25 kV a Soc. „Electrica", capabilă să absoarbă toată puterea și energia electrică disponibilă la Tărlungu. Interconectarea s-a făcut prin stația 25/6 kV Dîrste, prelungind LEA de 6 kV pînă la Dîrste.

Ținînd seama că rețeaua de 25 kV „Electrica" era interconectată cu UE Brașov din 1923, s-a realizat, de fapt, și interconectarea rețelei de 6 kV din zona celor șapte sate cu rețeaua regională de 15 kV din nord. Printr-o LEA de 6 kV Dîrste — Metrom — Noua s-a alimentat și acest cartier din orașul Brașov, precum și industriile respective.

Situația energetică a orașului Brașov, cu numeroasele sale ramuri industriale în plină dezvoltare, s-a înrăutățit și mai mult după cel de-al doilea război mondial, ceea ce a impus ca în perioada 1949—1950 să se execute LEA 110 kV Azuga — Predeal — Brașov (funcționînd temporar cu un circuit de 60 kV) pentru interconectarea mai puternică a Brașovului cu sistemul regional Muntenia, dar în același scop și LEA 110 kV Moroeni — Sinaia — Brașov, precum și stația 110/35/6 kV Brașov. Prin construirea, în anul 1954, a LEA 110 kV Fîntînele — Brașov s-a interconectat regiunea Brașov și la sistemul regional Ardealul central. Această interconectare, a celor mai puternice două sisteme regionale, Muntenia și Ardealul central, constituie de fapt actul de naștere a sistemului electroenergetic național.

Municipiul Brașov a fost electrificat în anul 1933. Electricitatea a pătruns însă în Brașov cu mult mai devreme, prin intermediul industriei, după cum s-a arătat. Prima centrală electrică s-a instalat în Brașov în 1896, la fabrica de produse chimice, astăzi Rafinăria Brașov.

Dezvoltarea industrială a Brașovului în special după primul război mondial, ca și lipsa unei centrale puternice, a condus la construirea unui număr mare de mici uzine electrice locale și de centrale electrice industriale autoproducătoare, care alimentau cîțiva consumatori particulari din vecinătate, cum ar fi : clădirea Reduta, firma Orghidan și Horvat, cinematograful, hotelul Postăvarul etc. În 1916 a fost instalat în centrul orașului un post de transformare aerian legat la LEA 15 kV, care alimenta din CHE Vulcan fabrica de ciment și care a deservit centrul orașului, în special autoritățile și serviciile armatei.

De la aceste instalații de producere sau de alimentare s-au construit pe străzile alăturate o serie de rețele electrice rudi-

mentare, cele mai multe aeriene pe stîlpi, cu caracteristici electrice foarte diferite de la o rețea la alta. A apărut astfel o situație haotică, foarte asemănătoare cu cea care s-a produs la Londra la sfîrșitul secolului trecut. Această situație era întreținută și de faptul că primăria orașului concesionase iluminatul public încă de la sfîrșitul secolului trecut unei societăți de gaz aerian și termenul de concesiune nu expirase. În sfîrșit, sub presiunea necesităților se constituie „SA Uzina electrică Brașov", cu capital suedez „Electroinvest-ASEA", căreia primăria îi concesionează dreptul de construire a instalațiilor și de exploatare a electricității. Concesionarul construiește și pune în funcțiune în 1933 primele instalații electroenergetice publice, energia electrică fiind asigurată prin centrala termoelectrică comunală nou construită (azi CTE nr.1), interconectată cu IKZ și cu celelalte centrale din rețeaua de 15 kV, precum și prin interconectarea cu rețeaua de 25 kV a Soc. „Electrica".

În 1938 principalele date asupra instalațiilor electroenergetice și a exploatării electricității în orașul Brașov au fost următoarele :

a) Centrala termoelectrică comunală echipată cu două grupuri turboalternatoare identice Lyungström-ASEA de 1400 kW 6600 V trifazat, 50 Hz și un grup de 3000 kW, restul caracteristicilor la fel, în total 5800 kW.

b) Rețeaua electrică de distribuție primară de 6 kV în lungime de 28 km, din care 25 km subterană, cu 28 posturi de transformare 6000/380/220 V și 2890 kVA instalați și circa 28 km rețea de distribuție 380/220 V.

c) Consumatori : circa 12 000 abonați particulari și circa 2200 lămpi publice.

d) Energia electrică produsă : circa 14 000 000 kWh/an.

Dezvoltarea industrială rapidă a orașului Brașov după cel de-al doilea război mondial a pus cu o deosebită acuitate problema energiei electrice, rezolvată, într-o primă etapă, prin lucrările de 110 kV arătate mai sus.

Orașul Codlea a fost electrificat în anul 1903, prin alimentarea de la o centrală hidroelectrică particulară construită pe rîul Vulcănița, afluent al Oltului. Inițial această centrală a fost echipată cu o turbină Francis și un dinam de circa 50 kW 220 V. În 1912 s-a refăcut amenajarea hidroelectrică și s-a instalat un grup turbină Francis de 160 CP cu generator de 190 kVA 400 V c.a. trifazat, 50 Hz. În același timp, în centrală s-au instalat și două grupuri termice de rezervă, și anume : un grup mașină cu abur 80 CP și generator 75 kVA 400 V c.a. trifazat, 50 Hz și un grup Diesel-electric 100 CP 53 kVA 400 V, 50 Hz.

Pentru distribuție s-a adoptat la început tensiunea de 220 V c.c., iar din 1912 tensiunea alternativă de 3 × 380/220 V.

După primul război mondial cererile de energie electrică au crescut foarte mult și, odată cu extinderea rețelei electrice, a fost necesară și suprapunerea unei rețele de înaltă tensiune. S-a adoptat tensiunea de 15 kV, construindu-se la centrală o stație de 0,4/15 kV 160 kVA, care a permis, în 1930, interconectarea cu rețeaua regională de 15 kV prin LEA 15 kV Codlea — Ghimbav și stația de conexiuni Ghimbav.

În 1938 situația electroenergetică a orașului Codlea se prezenta astfel : circa 3 km rețea de distribuție primară de 15 kV ; trei posturi de transformare de 15 000/380/220 V cu 275 kVA instalați ; 17,28 km rețea de distribuție de 3 × 380/220 V ; 950 abonați și 460 lămpi electrice publice și o producție a centralei de circa 480 000 kWh/an.

Orașul Făgăraș a fost electrificat în anul 1906 prin alimentarea de la o centrală termoelectrică locală echipată inițial cu o semistabilă 120/150 CP, care antrena două dinamuri de cîte 48 kW fiecare, debitînd energia electrică sub 2 × 240 V c.c. în rețeaua de 2 × 220 V.

În 1912 s-a instalat în centrală un grup Diesel-electric de 50 CP 23 kW, 2 × 240 V c.c., iar în 1915 un nou grup Diesel-electric de 50 CP 23 kW, 2 × 240 V c.c., renunțîndu-se la semistabilă, care din anul 1912 forma rezerva.

În anii următori, în special după primul război mondial, situația energetică a orașului a început să devină dificilă, datorită atît puterii insuficiente instalate în centrală, cît și tensiunii de distribuție. Abia în anul 1930 centrala s-a amplificat cu un al treilea grup Diesel-electric, de 150 CP 110 kW, 2 × 240 V c.c., însă situația rețelei a rămas în continuare dificilă. În 1936 SETA a construit LEA 15 kV Voila — Făgăraș, cu două stații de transformare de 15/0,4 kV de cîte 160 kVA la centrală, din care se alimentau mai multe grupuri convertizoare, și anume : un grup motor asincron și dinam de 80 kW, 2 × 240 V c.c. și trei grupuri motoare asincrone și dinamuri 2 × 240 V c.c. cu puteri de 23, 35 și 48 kW.

În 1938 rețeaua de distribuție de joasă tensiune de 2 × 240 V c.c. atinsese lungimea de aprox. 17 km și alimenta 1450 consumatori și 270 lămpi electrice publice. Centrala locală a produs în același an aprox. 350 000 kWh, restul de energie electrică necesară orașului fiind luată din rețeaua SETA.

Alimentarea orașului prin instalații de c.c. blocînd practic extinderea electrificării, în 1948 se trece integral orașul pe rețeaua SETA de c.a. 15 000 V trifazat, 50 Hz, cu rețeaua secundară de 3 × 380/220 V. Odată cu transformarea instalațiilor și alimentarea lor numai din rețeaua SETA s-a desființat centrala electrică comunală de curent continuu.

Orașul Zărnești. Introducerea electricității în acest oraș s-a făcut în anul 1906, prin construirea centralei termoelectrice a fabricii de hîrtie. Inițial, puterea instalată în această centrală a fost de 830 kVA c.a. trifazat 6600 V, 42 Hz.

În 1908 s-a construit o nouă centrală termoelectrică la fabrica de celuloză, echipată cu trei turbogeneratoare de cîte 1000 kW 400 V trifazat, 50 Hz, în total 3000 kW. Din aceste două centrale au fost date legături electrice la tensiunea de utilizare de 220 V autorităților și cîtorva locuitori din comună, în special salariaților celor două fabrici.

Electrificarea propriu-zisă a orașului Zărnești s-a făcut după anul 1950, prin racordarea sa la sistemul energetic național, cînd s-au construit și rețele electrice de distribuție de 6000 V și 380/220 V.

Orașul Rîșnov a fost electrificat în anul 1911, fiind alimentat din centrala hidroelectrică Rîșnov I și apoi din rețeaua regională de 15 kV. În 1938 situația electroenergetică a orașului Rîșnov și a celorlalte zece sate electrificate : Cristian, Ghimbav, Stupini, Sînpetru, Bod, Hărman, Araci, Hăghig, Feldioara și Rotbav, care formau împreună o asociație pentru exploatarea electricității, era următoarea : 82,5 km rețea de 15 kV, cu 30 posturi de transformare de 15/04 kV 1900 kVA, 61 km rețea de distribuție de 380/220 V, alimentînd 2100 consumatori și 900 lămpi electrice publice.

Producția celor două centrale hidroelectrice Rîșnov I și II, care erau exploatate și administrate de această asociație, a fost în acel an de circa 5 800 000 kWh.

Orașul Rupea a fost electrificat în 1915, cînd la moara din localitate s-au instalat două grupuri Diesel-electrice de cîte 60 CP 42 kW, 2 × 240 V c.c. Această centrală a fost amplificată în 1929, cînd s-a instalat un grup Diesel-electric de 120 CP 80 kW, 2 × 240 V c.c. Distribuția s-a făcut la tensiunea de 2 × 220 V c.c., cu ajutorul a trei puncte de alimentare.

În 1935 situația instalațiilor și a exploatării electricității a fost următoarea : 7,5 km rețea de distribuție, cu 575 abonați și 145 lămpi electrice publice, iar energia produsă circa 100 000 kWh/an.

În 1940 orașul Rupea a fost racordat în 15 kV la rețeaua societății SETA, modificîndu-se instalațiile în mod corespunzător.

Orașul Săcele, rezultat din contopirea celor șapte sate de lîngă Brașov, a fost electrificat în 1923 din CHE Tărlungu.

Pentru alimentarea acestor sate — azi orașul Săcele — s-au executat linii de 6 kV și un număr de posturi de transformare de 6000/220/127 V, alimentînd rețeaua electrică de joasă tensiune de 3 × 220/127 V.

După cum s-a arătat, puterea relativ importantă instalată în centrala Tărlungu și consumul redus al celor șapte sate au condus la măsura luată în anul 1929 de a se interconecta această centrală la rețeaua de 25 kV a soc. „Electrica" prin stația de 25/6 kV Dîrste, ceea ce a permis consumul întregii cantități de energie electrică disponibilă din această centrală.

În 1942 numărul abonaților din actualul oraș Săcele ajunsese la 1850 și al lămpilor publice la circa 1100. Energia electrică produsă de CHE Tărlungu în acel an a fost de circa 3 500 000 kWh.

În 1949—1950 s-a construit LEA 15 kV Brașov — Satulung, cu o stație de 15/6 kV la Satulung. Această LEA de 15 kV a fost prelungită ulterior, preluînd alimentarea satelor Zizin, Purcăreni și Tărlungeni.

Orașul Predeal a fost electrificat în anul 1927, prin racordarea la rețeaua soc. „Electrica". Racordarea s-a făcut în stația Azuga prin LEA 6 kV Azuga — Predeal, trei posturi de

transformare de 6000/380/220 V și o rețea electrică de distribuție de 380/220 V.

Prin construirea în anul 1928 a LEA 25 kV Azuga — Predeal — Dîrste, pentru interconectarea centralei Tărlungu la rețeaua soc. „Electrica", s-a trecut și alimentarea orașului Predeal pe 25 kV.

În 1930, în orașul Predeal erau circa 180 abonați și 100 lămpi electrice publice, care au consumat aprox. 180 000 kWh. Fiind racordat la rețeaua soc. „Electrica", dezvoltarea electrificării orașului s-a putut face normal.

Orașul Victoria este primul oraș nou construit în țara noastră în era socialistă. Pe locul actualului oraș, aparținînd comunei Ucea de Sus, au fost construite, în timpul celui de-al doilea război mondial, fabricile Ucea. Chiar de la deschiderea șantierului, în 1939, s-a construit și o centrală, care în anul 1943 dispunea de trei grupuri Diesel-electrice cu o putere totală instalată de 1000 CP, cu generatoare de 400 V c.c. trifazat, 50 Hz.

Începînd din anul 1949, odată cu dezvoltarea noului oraș, s-a trecut și la construirea primelor rețele electrice de joasă tensiune, de 380/220 V. Necesitățile de energie electrică în continuă creștere au impus amplificarea, în 1950, a centralei cu încă un grup Diesel-electric de 1800 CP cu generator de 6000 V c.a. trifazat, 50 Hz, precum și stabilirea unei soluții de perspectivă.

În cadrul acestor proiecte s-a executat LEA 60 kV Mîrșa — Ucea, ca prelungire a LEA 60 kV Sibiu — Mîrșa, și stația de 60/16/6 kV Ucea. Instalațiile au fost puse în funcțiune la 15 kV în 1951, iar de la începutul anului 1952 s-a trecut la funcționarea normală în 60 kV, alimentarea fiind făcută din sistemul regional Ardealul central.

Electrificarea rurală. În perioada de la începerea introducerii electricității și pînă la sfîrșitul anului 1950 s-au electrificat un număr de 33 localități rurale din totalul de 150 de sate ale județului Brașov, și anume: Baciu, Bod, Bărcuț, Cernatu, Cingșor, Cincu, Cristian, Dacia, Dîrste, Feldioara, Ghimbav, Hălchiu, Hărman, Homorod, Hurez, Jibert, Măieruș, Mercheașa, Mateiaș, Prejmer, Purcăreni, Racoș, Rotbav, Sînpetru, Satulung, Șercaia, Stupini, Tărlungeni, Timișul de Jos, Turcheș, Voila, Vulcan, Zizin.

Bibliografie

[1] * * * Ministerul Industriei și Comerțului. *Statistica instalațiilor de forță din România*. București, 1925.

[2] * * * APDE. *Statistica uzinelor electrice din România, 1936, 1938, 1941.*

[3] Rădulescu, Vl. *Centrala hidroelectrică Tărlungu și rețeaua societății Tărlungul.*

[4] Roată, D. *Istoricul instalațiilor electroenergetice ale orașului Brașov.*

[5] * * * IRE Brașov. *Monografia IRE Brașov*, 1973.

[6] * * * IRE Brașov. *Date privind istoricul electrificării localităților: Predeal, Săcele, Zărnești, Hălchiu, Codlea, Făgăraș, Rișnov, Rupea, Victoria, Homorod.*

CRONICĂ

A IX-a Conferință Internațională de Energetică Industrială

În zilele de 4—9 septembrie 1978 s-au desfășurat, la București, lucrările celei de-a IX-a Conferințe Internaționale de Energetică Industrială.

Actuala conferință, urmînd tradiția conferințelor anterioare, a oferit specialiștilor din domeniul energeticii industriale un prilej de a avea un schimb de opinii și de experiență, de a continua unele colaborări, pentru a găsi soluții noi și căi de rezolvare a multiplelor probleme pe care energetica industrială le pune în prezent în fața specialiștilor din toate țările.

Cuvîntul de deschidere al ministrului energiei electrice, Trandafir Cocârlă, ca și salutul adresat conferinței de reprezentanții delegațiilor țărilor participante au subliniat că utilizarea rațională și economisirea energiei de toate formele este în toate țările de o stringentă actualitate. Problemele analizate sînt din multe puncte de vedere comune, regăsindu-se în preocupările tuturor energeticienilor de a găsi căile pentru a depăși fenomenele pe care le generează caracterul tot mai limitat al resurselor de energie.

Tematica conferinței a reunit problemele considerate în mod unanim ca fiind de cea mai mare importanță, dezbaterile fiind organizate pe următoarele direcții:

— *în cadrul secțiilor*: creșterea randamentelor energetice ale proceselor industriale, utilizarea combinată și integrată a resurselor energetice primare și secundare, creșterea influenței energeticii în economia industrială, perfecționarea conducerii sistemelor energetice industriale, perfecționarea sistemelor energetice industriale și a automatizării acestora:

— *în cadrul simpozioanelor*: pregătirea cadrelor în domeniul energeticii industriale, fiabilitatea și influența sa asupra indicatorilor energetici, energetica industrială și poluarea mediului înconjurător, indicii unitari de consum specific de energie în industrie;

— *în cadrul grupelor de lucru*: probleme energetice specifice unor ramuri industriale mari consumatoare de energie: industria chimică, metalurgică, a materialelor de construcții, sticlei și ceramicii fine, precum și industria textilă.

Importanța deosebită a reuniunii noastre a fost evidențiată și de faptul că ea a primit mesaje de salut și este în atenția unor organisme internaționale, și anume: Comisia Economică ONU pentru Europa, Comitetul executiv internațional al Conferinței Mondiale a Energiei, Comisia de conservare a energiei a Conferinței Mondiale a Energiei, Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice, precum și a unor foruri științifice din alte țări, cum sînt: Comitetul Național S.U.A. al Conferinței Mondiale a Energiei și Universitatea Tehnică din München. De asemenea, atît în perioada de organizare

cît și în cursul desfășurării, conferința a beneficiat de sprijinul și atenția unor organe centrale, foruri științifice, întreprinderi și instituții din R. S. România, iar lucrările sale au fost reflectate în presă și în emisiunile de radio și televiziune din țara noastră.

Amploarea conferinței poate fi caracterizată și prin următoarele date statistice:

— referate prezentate în secții	128
— participanți înscriși	788
— intervenții în cadrul discuțiilor	150

Lucrările conferinței s-au desfășurat în următoarele secții:

Secția 1 — **Creșterea randamentelor energetice ale proceselor industriale**

În cadrul acestei secții au fost prezentate 33 de referate. La discuții au luat parte un număr de 13 participanți.

Lucrările secției au fost conduse de un prezidiu format din:

— prof. dr. Wilhelm Riesner (R.D.G.) — președinte
— dr. ing. Vladimir Pavlovici Korabliov (U.R.S.S.) — vicepreședinte
— prof. dr. doc. Vasile Nitu (R.S.R.) — raportor general
— ing. Alexandru Florescu (R.S.R.) — secretar
— ing. Anton Vlădescu (R.S.R.) — secretar

Referatele prezentate au pus în evidență o varietate de mijloace și posibilități privind creșterea randamentelor proceselor industriale, subliniate și în raportul general. În acest domeniu s-au prezentat concepții și soluții concrete.

Față de stadiul actual există încă mari posibilități pentru mărirea randamentului energetic al proceselor industriale, posibilități care trebuie verificate în special în ramurile mari consumatoare de energie (industria chimică, siderurgică, a materialelor de construcții) prin identificarea, evaluarea și găsirea căilor de reducere a pierderilor.

Recuperarea resurselor energetice secundare reprezintă o cale principală de diminuare a consumului de energie primară, respectiv de mai bună gospodărire a energiei. Rapoartele conțin o gamă variată de soluții și idei privind tehnologiile de recuperare și echipamentele specifice, particularizate pentru diferite ramuri sau procese industriale.

Utilizarea resurselor energetice secundare de potențial scăzut, sub 100°C, a fost subliniată în rapoarte ca o cale potențială importantă de economisire a energiei și care în condițiile actuale își poate găsi aplicații realizabile tehnic și eficiente economic în multe sectoare industriale.

În unele cazuri este necesară chiar restructurarea tehnologiilor unor procese industriale în scopul reducerii consumurilor specifice de energie. Eficiența energetică devine parte integrantă principală în eficiența de ansamblu a tehnologiilor și respectiv în fundamentarea deciziei de alegere a lor.

În cadrul discuțiilor s-au detaliat o serie de probleme atinse în referate și s-au expus puncte de vedere în legătură cu problematica supusă discuției în raportul general.

S-au prezentat soluții concrete privind utilizarea resurselor energetice secundare și punerea lor optimă în valoare:

— în procese tehnologice din industria chimică, în instalațiile de producere a amoniacului, sulfului, fosforului, sodei calcinate;

— în combinatele siderurgice, prin utilizarea directă a gazelor de furnal și de cocs în proces;

— în procesele de epurare a nămolurilor reziduale orășenești sau industriale, utilizarea gazelor combustibile rezultate din reacțiile de fermentare pentru acoperirea consumului de căldură propriu.

În legătură cu modernizarea instalațiilor în exploatare, cu modificări corespunzătoare a tehnologiilor și parametrilor tehnologici, în vederea scăderii consumurilor specifice de energie, s-au prezentat rezultatele pozitive obținute la sinteza amoniacului și distilarea sub vid a produselor petroliere.

Pentru raționalizarea din punct de vedere energetic a valorificării combustibilului, se impune extinderea termoficării pentru asigurarea cu căldură în procesele tehnologice. Ca soluții cu aplicabilitate eficientă în domeniul utilizării resurselor energetice secundare de potențial scăzut, s-au evidențiat:

— ciclurile de recuperare cu freon pentru producerea de putere și energie electrică suplimentară pe baza căldurii evacuate cu gazele de ardere, din răcirea intermediară a aerului în stațiile de compresoare;

— instalațiile cu pompe de căldură industriale care să conecteze procesele exoterme cu procesele endoterme din industria chimică;

— instalațiile frigorifice cu absorbție.

S-a subliniat în mod special necesitatea unei optimizări din punct de vedere energetic și exergetic a modului de încadrare a pompelor de căldură în schemele de recuperare.

Concluziile lucrărilor Secției 1 au fost prezentate de raportorul general și au subliniat în principal următoarele:

— în prezent este deosebit de necesară și urgentă trecerea de la randamentele actuale, încă relativ reduse, de utilizare a energiei în procesele industriale la randamente substanțial îmbunătățite;

— gospodărirea energiei în cadrul complexelor industriale trebuie să fie tratată sistemic, pe ansamblu, astfel încît soluțiile să fie optime, în funcție de un complex de criterii (energetic, exergetic și, bineînțeles, economic);

— există posibilităţi certe de dezvoltare şi punere în exploatare a unor tehnologii şi echipamente noi, specializate pe tipuri de procese industriale, care să conducă la eficienţă energetică sporită.

Secţia 2 — **Utilizarea combinată şi integrată a resurselor energetice primare şi secundare**

În cadrul secţiei au fost prezentate 14 referate. La discuţii au luat parte un număr de 11 participanţi.

Lucrările secţiei au fost conduse de un prezidiu format din :

— prof. dr. Boris Alekseevici Konstantinov (U.R.S.S.) — preşedinte
— dr. doc. ing. Edward Radwaceski (R.P.P.) vicepreşedinte
— prof. dr. ing. Nicolae Dănilă (R.S.R.) — raportor general
— dr. ing. Radu Dumitrache (R.S.R.) — secretar
— dr. ing. Virgil Muşatescu (R.S.R.) — secretar

Raportul general a identificat două direcţii principale de dezvoltare a rapoartelor înscrise în cadrul secţiei, şi anume :

— producerea combinată a energiei electrice şi a căldurii, astfel încît consumurile să fie acoperite cu minimum de consum de energie primară ;

— gruparea diferitelor procese tehnologice de pe platformele industriale în vederea creării unui lanţ optim de utilizare a energiei.

În cadrul mai larg al tematicii secţiei, raportorul general a subliniat ca fiind importante şi alte probleme, respectiv :

— combinarea şi integrarea resurselor energetice, însoţită de organizarea adecvată a fluxului tehnologic în scopul reducerii consumurilor ;

— utilizarea resurselor energetice prin combinarea de centrale electrice de termoficare şi instalaţii de pompe de căldură ;

— eventuala grupare a unor industrii diferite pe platforme mari în vederea transferării resurselor energetice secundare dintr-un proces către acea activitate industrială care oferă cea mai eficientă cale de valorificare.

Rapoartele prezentate au subliniat rezultatele deosebite obţinute în ultimii ani de energetica industrială, în special prin creşterea ponderii producerii combinate a energiei electrice şi a căldurii. Dintre căile de ridicare în continuare a eficienţei utilizării resurselor energetice primare şi secundare se remarcă următoarele soluţii :

— echiparea CET industriale cu turbine realizate după o concepţie modulară, în care nivelele de presiune ale prizelor reglabile şi tipul ciclului (contrapresiune sau condensaţie şi prize) sînt tipizate pe baza unei optimizări care ia în considerare cerinţele diferitelor grupe de consumatori industriali ;

— realizarea unor scheme de insularizare a CET pe un consum industrial, scheme care să ia în considerare şi criterii de siguranţă în funcţionare ;

— utilizarea pe scară largă a calculatoarelor electronice pentru dispecerizarea energetică a ansamblului producător-consumator de energie.

În discuţii s-au dezbătut o serie de aspecte importante în cadrul sugerat de raportul general, dintre care se menţionează :

— adaptarea turbinelor de condensaţie pură existente pentru livrarea de abur cu utilizări industriale, prin creşterea prelevărilor de abur între colţuri ;

— îmbunătăţirea metodologiilor de optimizare a profilului CET industriale, inclusiv prin adoptarea de modele matematice care să ia în considerare evoluţia în timp a raporturilor producţie-consum ; această cale este cu atît mai necesară cu cît poate servi la fundamentarea realizării în perspectivă de CNE de termoficare industrială ;

— introducerea şi/sau extinderea unor procese tehnologice cu consumuri specifice de energie şi combustibil îmbunătăţite, cum ar fi cele din industria chimică (metoda plastochimică de producere a acidului azotic, schemele în două trepte de producere a fosforului etc.) şi din industria petrolieră.

Concluziile lucrărilor Secţiei a 2-a au fost formulate de preşedintele secţiei, care a subliniat necesitatea întăririi cooperării pe lanţul cercetare-proiectare-producţie, în vederea unei integrări cît mai avansate a proceselor tehnologice consumatoare de energie şi combustibil, precum şi necesitatea dezvoltării în continuare a producerii combinate de energie electrică şi căldură pentru utilizări tehnologice.

Secţia 3 — **Creşterea influenţei energeticii în economia industrială**

În cadrul secţiei au fost prezentate 24 rapoarte, iar la discuţii au luat parte 15 participanţi.

Lucrările secţiei au fost conduse de un prezidiu format din :

— prof. ing. Jaroslav Budlovsky (R.S.C.) — preşedinte
— dr. ing. Tamas Bonkàlo (R.P.U.) — vicepreşedinte
— dr. ing. Călin Mihăileanu (R.S.R.)—raportor general
— dr. ing. Dorin Potlog (R.S.R.) — secretar
— ing. Mihaela Dinu (R.S.R.) — secretar

Referatele prezentate în cadrul secţiei, precum şi raportul general au subliniat, ca o caracteristică predominantă a etapei actuale de dezvoltare economică, creşterea influenţei energeticii asupra economiei industriale.

Tematica referatelor a cuprins următoarele aspecte :

— probleme generale de politică energetică în economia națională ;

— problema legate de utilizarea rațională a energiei și combustibililor în diferite ramuri industriale ;

— metode noi de apreciere a proceselor tehnologice din punctul de vedere al utilizării resurselor energetice.

În urma discuțiilor purtate în cadrul secției s-au finalizat următoarele concluzii principale :

În domeniul măsurilor de conservare a energiei este necesară stabilirea unei metodologii privind ordinea prioritară de aplicare a acestora.

În cadrul acestor metodologii vor trebui luate în considerare mai mute criterii, care caracterizează din diferite puncte de vedere problematica energeticii industriale.

În scopul caracterizării energetice a unui produs sau serviciu, s-a propus folosirea prioritară a indicatorului care ia în considerare energia înglobată în materiile prime și materialele consumate, cea introdusă direct sau indirect în procesul tehnologic respectiv, cît și cea implicată de funcționarea pe întreaga durată de viață a produsului sau serviciului.

S-a subliniat și la această secție necesitatea tratării multidisciplinare a problemelor de energetică industrială, ceea ce presupune o colaborare tot mai strînsă a specialiștilor din diferite domenii.

De asemenea, s-a susținut de către vorbitori că tratarea sistemică a ansamblului surse-consumatori trebuie să devină modul generalizat de abordare a problemelor energetice.

O propunere adresată conferinței, ca organism cu autoritate tehnică, a fost aceea de a sprijini aplicarea „orei de vară" ca mijloc de economisire a energiei.

În cadrul secției s-a sugerat că problemele enumerate pot constitui subiecte interesante pentru tematica viitoarei conferințe de energetică industrială.

Secția 4 — **Perfecționarea conducerii sistemelor energetice industriale. Efecte energetice și economice**

Prezidiul a fost format din :

— ing. Vladimir Pavlov (R.P.B.)—președinte
— dr. ing. Frantisek Setnicika (R.S.C.) — vicepreședinte
— ing. Bernard Marcu (R.S.R.) — raportor general
— ing. Grigore Iorgulescu (R.S.R.) — secretar
— ing. Mario Duma (R.S.R.) — secretar

În cadrul secției au fost prezentate un număr de 32 referate, iar la discuții au luat parte 17 participanți.

Rapoartele prezentate și dezbaterile din cadrul secției au scos în evidență principii, metodologii și linii directoare care pot contribui hotărîtor la creșterea eficienței energetice și de ansamblu a proceselor industriale.

Sistemele energetice industriale reprezintă sisteme cibernetice mari, cu structuri complexe, care interacționează pe plan tehnologic, informațional și de decizie cu alte sisteme.

Gestiunea energiei în întreprinderile industriale formează un subsistem care justifică o comandă operativă distinctă, unitară la nivelul ansamblului sistemului energetic industrial.

Conducerea operativă a sistemelor energetice industriale, corelată cu automatizarea complexă a proceselor, asigură creșterea continuității în alimentarea cu energie, menținerea parametrilor optimi de funcționare, economisirea tuturor formelor de energie, economii de investiții.

În conducerea proceselor industriale complexe, utilizarea calculatoarelor electronice și-a dovedit deja eficiența.

La alegerea soluțiilor pentru organizarea producției unui obiectiv industrial, trebuie să se țină seama și de condițiile gospodăririi energiei, utilizînd metodele științifice pentru adoptarea și fundamentarea deciziilor.

Soluțiile adoptate trebuie să fie raționale, economice, atît sub raport tehnologic cît și energetic. Trebuie să se promoveze metodele de abordare sistemică a problemelor complexe privind gestiunea economică a obiectivelor industriale, ținînd seama de toate implicațiile și condiționările tehnologie-energie.

Conducerea eficientă a sistemelor energetice industriale impune elaborarea unor indicatori tehnico-economici coerenți, care să reflecte și eficiența utilizării resurselor energetice.

La elaborarea deciziilor privind planificarea investițiilor pentru obiectivele industriale trebuie să se țină seama și de criteriul economisirii energiei.

O importanță deosebită în conducerea eficientă a obiectivelor industriale pentru reducerea consumurilor de energie are elaborarea bilanțurilor energetice și exergetice în fazele de proiectare și de exploatare a acestor obiective.

Analiza științifică a bilanțurilor energetice constituie una dintre cele mai eficiente metode de identificare a posibilităților de raționalizare și economisire a energiei de toate formele și de stabilire a normativelor minime de consum specific de energie.

Odată cu dezvoltarea obiectivelor industriale s-au impus tot mai mult cerințele pentru asigurarea continuității în alimentarea cu energie a instalațiilor consumatoare, pentru tratarea unitară a instalațiilor de alimentare și a celor consumatoare, precum și a influențelor reciproce dintre ele. Creșterea fiabilității insta-

laţiilor de alimentare cu energie şi a utilajelor tehnologice contribuie la reducerea consumurilor specifice de energie.

Ţinînd seama de aspectele prezentate în rapoarte şi în cadrul discuţiilor, rezultă că în situaţia actuală perfecţionarea conducerii sistemelor energetice industriale constituie o condiţie esenţială pentru realizarea obiectivelor de economisire şi utilizare raţională a energiei şi a combustibilului în industrie.

Secţia 5 — **Perfecţionarea sistemelor energetice industriale şi a automatizării acestora**

S-au prezentat 24 referate, iar la cuvînt s-au înscris 12 vorbitori.

Lucrările secţiei au fost conduse de un prezidiu compus din :

— Vadas Zoltan (R.P.U.) — preşedinte
— prof. dr. Valkmar Pfeiler (R.D.G.) — vicepreşedinte
— ing. Gh. Bălan (R.S.R.) — raportor general
— dr. ing. Iosif Cserveny (R.S.R.) — secretar
— ing. O. Pavnotescu (R.S.R.) — secretar

Ca tematică prioritară în cadrul secţiei s-au analizat perfecţionările în domeniul instalaţiilor de producere a energiei, în special al cazanelor funcţionînd cu combustibil inferior, perfecţionările şi modernizările pe partea de automatizări, protecţii, măsură, acţionări, avînd ca scop creşterea siguranţei în exploatare şi a eficienţei procesului tehnologic al consumatorilor industriali.

S-au analizat perfecţionările care duc în mod direct sau indirect la reducerea consumului de combustibil.

Raportul general a trecut în revistă stadiul actual şi perspectivele privind perfecţionarea instalaţiilor de producere a energiei electrice, inclusiv în centralele electrice proprii ale întreprinderilor industriale, precum şi perfecţionarea automatizării şi acţionărilor la nivelul producerii şi consumului de energie electrică şi termică.

În referate s-au subliniat progresele realizate în ultimii ani în proiectare, cercetare şi exploatare, în special pe partea de automatizare şi cu privire la cazanele de abur.

În cadrul dezbaterilor s-au ridicat o serie de aspecte interesante, însoţite de exemplificări, privind automatizarea complexă a părţii energetice a proceselor industriale, automatizări care permit alimentarea sigură şi la parametrii prescrişi a tuturor categoriilor de consumatori.

S-a insistat asupra metodelor moderne de investigare în activitatea de cercetare şi proiectare pentru alegerea acelor scheme de automatizare care sînt optime din punct de vedere economic şi al siguranţei în funcţionare.

S-au dezbătut probleme legate de specificul alimentării cu energie a platformelor industriale, rezultînd de aici condiţii impuse automaticii de sistem.

S-au purtat discuţii privind perfecţionarea cazanelor de abur, îmbunătăţirea exploatării părţii termomecanice a centralelor electrice industriale, precum şi probleme legate de utilizarea cît mai raţională a combustibililor.

Din lucrările secţiei s-au desprins concluzii utile pentru activitatea viitoare a specialiştilor care lucrează în domeniul energeticii industriale, în special pe partea de automatizare, de cazane şi de combustibili.

În mod deosebit concluziile s-au referit la :

— îmbunătăţirea proceselor de automatizare la nivelul furnizorului de energie electrică şi termică, în vederea asigurării continuităţii alimentării cu energie a consumatorilor industriali la parametrii prescrişi ;

— perfecţionările aduse în întreprinderi industriale pe partea de automatizare şi acţionare, utilizarea calculatoarelor de proces în energetica industrială şi asigurarea schimbului operativ de informaţii între sistemul energetic şi consumatorii industriali ;

— perfecţionările de ordin tehnologic care asigură o fiabilitate şi o eficienţă economică mărită în scopul realizării unor consumuri specifice minime.

Simpozionul P1 — **Probleme ale pregătirii cadrelor în domeniul energeticii industriale**

Lucrările acestui simpozion au fost conduse de un prezidiu format din :

— ing. Pal Heimann (R.P.U.) — preşedinte
— conf. dr. ing.Anatol Carabulea (R.S.R.) — vicepreşedinte
— ing. Ştefan Berenghi (R.S.R.) — vicepreşedinte
— ing. Emil Pop (R.S.R.) — secretar.

În cadrul lucrărilor au participat la discuţii un număr de opt delegaţi, care au prezentat modul de pregătire a cadrelor de specialişti în domeniul energeticii industriale.

Toate delegaţiile au accentuat necesitatea colaborării internaţionale pentru pregătirea cadrelor şi a realizării de întîlniri periodice pentru schimburi de experienţă.

Pregătirea cadrelor trebuie făcută atît pe probleme generale, cît şi pe probleme specifice diferitelor specialităţi.

O importanţă deosebită trebuie acordată, prin cursurile de perfecţionare, însuşirii unor noi tehnologii în vederea folosirii cu maximum de eficienţă şi în condiţii de siguranţă ridicată a resurselor energetice.

Din partea română s-a prezentat referatul : „Concepţia sistemică de pregătire a cadrelor de energeticieni sub aspect tehnico-economic".

A rezultat necesitatea întocmirii unor programe de studii comune între institutul de învăţămînt tehnic superior care patronează

cursurile și specialiștii diferitelor ministere pentru cei ce urmează a fi reciclați.

S-a propus ca următorul simpozion pe această temă să aibă loc în 1979 în R.P. Polonă.

Simpozionul P 2 **Fiabilitatea și influența sa asupra indicatorilor energetici**

Lucrările simpozionului au fost conduse de un prezidiu fromat din :

— dr. ing. Vram Vagramovici Mihailov (U.R.S.S.) — președinte
— prof. dr. ing. Friedrich Klöpfel (R.D.G.) — vicepreședinte
— conf. dr. ing. Cezar Ionescu (R.S.R.) — secretar
— ing. Ana Petrescu (R.S.R.) — secretar.

Rapoartele prezentate s-au referit la metodica pentru evaluarea economică a pagubelor la scăderea calității alimentării cu energie și la principiile pentru proiectarea sistemelor de alimentare cu energie care asigură o desfășurare fără avarie a procesului tehnologic.

Cele două rapoarte au scos în evidență importanța preliminării daunelor la consumatorii industriali provocate de întreruperile în alimentarea cu purtătorii de energie, cît și de calitatea alimentării, pe de o parte, iar pe de altă parte s-au referit la principiile de proiectare a sistemelor de alimentare cu toate formele de energie în condițiile dotării cu calculatoare de supraveghere a acestor sisteme și a platformelor industriale.

Participanții la discuții, în număr de opt, au scos în evidență necesitatea aplicării metodologiilor de evaluare a daunelor provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică și căldură încă din faza de proiectare a platformelor industriale. În legătură cu aceasta s-a propus ca să se includă în preocupările simpozionului și problemele implicate de calitatea alimentării cu purtătorii de energie.

Modelele utilizate pentru proiectarea platformelor industriale vor trebui elaborate astfel ca să ia în considerare specificul procesului de producție, siguranța alimentării cu energie și siguranța fluxului informațional. Aceste modele vor trebui să fie în concordanță cu rezultatetele analizelor avariilor.

Simpozionul își propune de asemenea ca în aria preocupărilor sale să includă și stabilirea schemelor optime de alimentare cu purtătorii de energie, pînă la nivelul asigurării unei producții stabile la consumatori.

Pentru a reflecta conținutul lărgit al preocupărilor s-a propus și s-a acceptat o nouă denumire a simpozionului în „Siguranța în alimentarea cu energie a întreprinderilor industriale".

Simpozionul P 3 — **Probleme de energetică industrială și poluarea mediului înconjurător**

Lucrările acestui simpozion, care și-a început activitatea cu ocazia actualei conferințe, au fost conduse de un prezidiu format din :

— prof. dr. doc. Virgil Ianovici (R.S.R.) — președinte
— dr. ing. Teodor Popa (R.S.R.) — vicepreședinte
— ing. Ion Răcman (R.S.R.) — secretar

Importanța acestui domeniu a fost subliniată în raportul prezentat de președintele lucrărilor, care a conturat cadrul general al domeniului ca bază de discuții.

Intervențiile participanților (în număr de opt) au completat materialul prezentat prin expunerea unor probleme de mare anvergură în domeniul poluării, cît și a unor rezultate în urma măsurilor concrete adoptate. În legătură cu poluarea produsă de platformele industriale a rezultat necesitatea tratării sistemice, în legătură cu aspectele economice și energetice, a acestor fenomene.

Au fost primite cu interes rezultatele cantitative și calitative obținute în urma cercetărilor privind reducerea poluării termice a emisarilor naturali, reducerea și diminuarea poluării cu oxizi de sulf generați în focarele cazanelor de abur.

S-au relevat perfecționările antipoluante din domeniul industriei cocso-chimice și în general în domeniul reducerii emisiilor combinate de pulberi și căldură reziduală.

Pe baza propunerilor efectuate în ședință a fost stabilit programul de lucru pentru activitatea viitoare.

Simpozionul P 4 — **Indicatorii consumului specific de energie**

Lucrările simpozionului s-au desfășurat sub conducerea unui prezidiu format din :

— ing. Zdislaw Bibrowski (R.P.P.) — președinte
— ing. Mircea Breazu (R.S.R.) — vicepreședinte
— ing. Nicolae Popovici (R.S.R.) — secretar

Activitatea acestui simpozion are ca scop elaborarea de noțiuni unice și metodologii unice de calcul al indicatorilor atinși în realitate pentru consumul specific de energie.

Acestea trebuie să fie puse la dispoziția autorităților și organizațiilor cointeresate, precum și a tuturor energeticienilor din industrie.

Simpozionul a elaborat pînă acum 28 de definiții și metodologii de calcul al indicatorilor de consum specific de energie, din care o serie au fost recomandate de CAER țărilor membre. Ultimele patru metodologii elaborate au fost supuse discuțiilor în această ședință a simpozionului și se referă la determinarea indicilor

specifici de consum de energie la fabricarea zincului electrolitic, a acidului sulfuric din minereuri sulfuroase şi din anhidridă, precum şi a varului.

Actuala şedinţă a permis efectuarea unui schimb util de păreri asupra activităţii şi a materialelor elaborate, în cadrul simpozionului fiind făcute o serie de propuneri privind activitatea viitoare, printre care :

— elaborarea unei metodologii unitare de întocmire a bilanţurilor energetice ;

— colectarea datelor statistice şi analiza indicatorilor de consum specific pentru diverse tipuri de produse energointensive ;

— elaborarea unei metodologii unitare pentru definirea indicilor de consum specific la producerea cîtorva produse finite :

— elaborarea unei metodologii de prognoză a valorii indicatorilor de consum specific.

Hotărîrea în aceste probleme va fi luată la următoarea şedinţă a simpozionului, care se preconizează a avea loc în Polonia în 1979.

Lucrările grupei G1 de lucru **„Industria chimică"** au fost conduse de un prezidiu format din :

— ing. György Barta (R.P.U.) — preşedinte
— ing. Ioan Păduraru (R.S.R.) — membru
— ing. Eugen Fercală (R.S.R.) — secretar.

Printre cele mai interesante probleme care s-au ridicat în raportul grupei şi în timpul dezbaterilor sînt :

— Găsirea unor căi concrete de soluţionare a utilizării resurselor energetice secundare, în primul rînd în cadrul proceselor tehnologice care le generează.

Pe această cale, în industria cauciucului, spre exemplu, se poate asigura pînă la 80% din necesarul de căldură al instalaţiilor.

Modul de soluţionare de mai sus apare mai convenabil decît utilizarea acestor resurse în CET.

O altă metodă de utilizare avantajoasă a resurselor energetice secundare, rezultate din procese de natură chimică, o constituie integrarea utilajelor recuperatoare de căldură în însuşi agregatul tehnologic.

În ceea ce priveşte utilizarea resurselor energetice secundare de potenţial coborît, a rezultat că în primul rînd este necesar să se găsească posibilităţi de utilizare în cadrul întreprinderilor chimice, ca, de exemplu, pentru procese de încălzire şi ventilaţie. După epuizarea acestei posibilităţi, resursele se pot folosi ca agent termic pentru locuinţe sau pentru alte ramuri ale economiei.

Posibilitatea lărgirii domeniului de utilizare a resurselor energetice de potenţial coborît o oferă pompele de căldură. S-au relevat cercetările în curs în acest domeniu şi interesul major manifestat de participanţi de a cunoaşte rezultatele cercetărilor în vederea procurării de asemenea echipamente.

O parte a discuţiilor a vizat reducerea consumurilor de energie prin mărirea gradului de siguranţă în funcţionarea instalaţiilor şi în alimentarea lor cu diverse forme de energie.

Pe această cale pot fi reduse consumurile specifice la o instalaţie de electroliză sodă — clor cu 8—9%.

În cadrul discuţiilor s-a subliniat necesitatea elaborării încă din faza de proiect a bilanţurilor energetice şi de exergie.

În acest scop trebuie optimizate mai întîi fluxurile de energie din interiorul platformelor chimice, care pot depăşi de cîteva ori fluxurile ori cantităţile de energie preluate din exterior.

S-au relevat în această privinţă rezultatele bune obţinute la unele combinate petrochimice.

Urmărirea continuă a consumurilor specifice pe parcursul exploatării reprezintă o condiţie de respectare şi îmbunătăţire a parametrilor iniţiali.

De un real folos pe această linie poate fi crearea unor dispecerate energo-tehnologice de platformă chimică, care să găsească regimul optim energetic chiar dacă trebuie ca tehnologia să se abată în anumite limite de la parametri.

S-a evidenţiat necesitatea organizării în mai bune condiţii a unor contacte permanente ale energeticienilor care lucrează în industria chimică din ţările participante.

Lucrările grupei G 2 privind **„Alimentarea cu energie a întreprinderilor din industria metalurgică"** au fost conduse de un prezidiu format din :

— dr. doc. ing. Jerzy Michna (R.P.P.) — preşedinte
— ing. Dumitru Ioniţă şi ing. Corneliu Ene (R.S.R.)—membri
— ing. Liviu Lup (R.S.R.) — secretar

În cadrul grupei s-au prezentat două rapoarte şi 12 luări de cuvînt.

Cele două rapoarte generale au prezentat ca probleme principale o privire de ansamblu asupra producţiei de fontă şi oţel corelată cu consumul de resurse energetice, conducerea prin calculator a proceselor, perfecţionarea eforturilor şi a unor cuptoare, intensificarea recuperării şi valorificării resurselor energetice secundare.

Participanţii la discuţii au subliniat :

— perfecţionarea metodelor de prognozare a consumurilor de resurse energetice ;

— necesitatea intensificării acţiunilor pentru înlocuirea resurselor energetice deficitare ;

— existenţa unor posibilităţi de ameliorare a indicilor de consum la instalaţiile existente.

Pentru activitatea viitoare s-a propus :

— stabilirea unor metodologii unitare pentru calculul consumurilor specifice de resurse energetice, pe baza unui program de colaborare în viitor ;

— analiza, în cadrul lucrărilor următoarei conferinţe, a metodologiilor de prognozare pri-

vind consumurile energetice din industriile metalurgice ale țărilor participante.

Lucrările grupei G 3 **„Industria materialelor de construcții, sticlă și ceramică fină"** au fost conduse de un prezidiu format din:

— ing. Liuben Mașkin (R.P.B.) — președinte
— ing. Ion Voinoiu (R.S.R.) — membru
— ing. Dimitrina Smoleva (R.P.B.) — secretar
— ing. Grigore Rotărelu (R.S.R.) — secretar

În cadrul grupei s-a prezentat un raport de bază și 7 intervenții.

Principalele probleme cuprinse în raportul general și în materialele prezentate au fost următoarele:

— producția materialelor de construcții, sticlă și ceramică fină fiind o ramură a industriei care necesită un consum mare de energie, este necesară găsirea unor soluții pentru reducerea tot mai accentuată a consumurilor;

— perfecționarea tehnologiilor și a instalațiilor existente;

— utilizarea de aditivi la producerea cimentului prin procedeul umed;

— utilizarea de aditivi la arderea clincherului, care favorizează procesul termic;

— introducerea preîncălzirii masei brute cu căldura din gazele de ardere la cuptoarele de ciment;

— ridicarea eficacității instalațiilor de uscare în industria materialelor de construcții;

— dezvoltarea și introducerea sistemelor automate de control și comandă pentru procesul de producție în întreprinderi;

— folosirea de noi resurse de energie.

În cadrul discuțiilor au fost relevate următoarele probleme:

— elaborarea de noi tehnologii în tratarea termică a prefabricatelor de beton (50% reducere a consumului specific față de vechea metodă de turnare în tipare);

— înlocuirea combustibililor superiori (gaz metan, păcură) în industria materialelor de construcții prin înglobarea de praf de cărbune în masa ceramică;

— utilizarea cenușii de la termocentrale în vederea economisirii combustibililor superiori.

Lucrările grupei G 4 **„Industria textilă"** au fost conduse de un prezidiu format din:

— ing. Miroslav Smolik (R.S.C.) — președinte
— ing. Florian Mercea (R.S.R.) — membru
— ing. Dan Cojocaru (R.S.R.) — secretar

În cadrul grupei s-a prezentat un raport de bază și 15 intervenții.

Principalele probleme tratate în raportul de bază s-au referit la:

— utilizarea economică a purtătorilor de energie în industria textilă, în special în procesele de uscare și de fixare;

— utilizarea căldurii reziduale de la instalațiile de uscare, de condiționare, a căldurii cu potențial scăzut a apelor uzate de la vopsitorii, a căldurii aerului evacuat din uscătorii;

— climatizarea halelor de finisaj din industria textilă — sisteme de climatizare, de reglaj, automatizări etc.;

— tehnica iluminării în industria textilă, nivele de iluminat, noi tehnici de iluminare, creșterea randamentului energetic în cadrul proceselor de iluminare.

Problemele dezbătute în cadrul discuțiilor în grupă au arătat următoarele căi principale pentru reducerea consumurilor energetice în industria textilă:

— valorificarea superioară a materiei prime prin adoptarea unor tehnologii de vîrf de mare productivitate (mașini de țesut, mașini de filat cu cap liber etc.), automatizarea conducerii și supravegherii proceselor de fabricație, recuperarea și valorificarea deșeurilor prin reintegrarea lor în procesul de fabricație;

— recuperarea și valorificarea energetică a unor deșeuri combustibile nerecuperabile din punct de vedere tehnologic, recuperarea căldurii secundare conținută în condensatul rezultat în procesele tehnologice pentru prepararea apei calde necesare sectorului de finisaj (economie 10%), recuperarea căldurii evacuate în aerul uzat (economii 12%);

— reducerea consumului de energie prin alimentarea întreprinderilor de pe o platformă industrială din surse comune (abur, apă caldă, aer comprimat etc.);

— aplicarea iluminatului local sau localizat în locul iluminatului general (reducere 15–30%).

În afara acestor activități au avut loc vizite tehnice la următoarele obiective: Institutul politehnic București, Întreprinderea de mașini grele București, Combinatul de prelucrare a lemnului Pipera, Centrala electrică de termoficare București-Sud, vizite care au prilejuit cunoașterea unor realizări din țara noastră în domeniul pregătirii cadrelor de specialitate și al activității practice în domeniul energetic.

Schimbul de experiență și mai buna cunoaștere de către specialiști a realizărilor în domeniul energeticii industriale, cu ocazia acestei conferințe, au pus în evidență complexitatea problemelor ce se cer rezolvate și necesitatea participării intense a tehnologilor și energeticienilor, a unui număr cît mai mare de specialiști, în vederea unei rezolvări eficiente a problemelor energotehnologice.

În acest sens este necesară și în viitor o concentrare a forțelor noastre în vastul domeniu al energeticii industriale, mare consumatoare de energie primară, pentru care societatea depune în prezent eforturi deosebite de conservare.

O datorie a noastră a tuturor este ca prin eforturile depuse în cercetare, proiectare și exploatare să adoptăm în permanență acele soluții care în tehnologia industrială conduc la o dezvoltare cu consum mai redus de energie.

Prof. dr. doc. **Vasile Nitu**

Lista rapoartelor prezentate la cea de-a IX-a Conferință Internațională de Energetică Industrială *)

Secția 1 — Creșterea randamentelor energetice ale proceselor industriale

1.1. S. P. Souşon, J. L. Rîjnev, L. J. Komendo ş.a. (U.R.S.S.): Alegerea căilor eficiente de utilizare a resurselor energetice secundare.
1.2. Fl. Alexe, T. Secară (R.S.R.): Introducerea unei noi scări a parametrilor aburului viu pentru ciclurile CET fără supraîncălzire intermediară.
1.3. V. Neaţu, M. Popa (R.S.R.): Influenţa aditivului indigen de ardere asupra depunerilor şi coroziunilor de joasă şi înaltă temperatură.
1.4. N. Armencoiu, D. Renţea, L. Ghioca (R.S.R.): Unele soluţii privind valorificarea resurselor energetice secundare din România.
1.5. T. Berinde, I. Lazăr, R. Resiga (R.S.R.): Economia de combustibil în tehnica pompelor de căldură.
1.6. A. Zlatozar (R.P.B.): Modelarea procesului de exploatare şi de proiectare optimă a unui sistem naval pentru producerea de energie electrică.
1.7. A. Soci, A. Pap, S. Kovacs, M. Elefterescu (R.S.R.): Priorităţi în gospodărirea energiei electrice în întreprinderile industriei construcţiilor mecanice.
1.8. T. Bonkalo (R.P.U.): Economii de energie realizate prin modernizări tehnologice, cu exemplificări din industria textilă.
1.9. F. Kozma (R.P.U.): Consumul de căldură şi probleme economice legate de o metodă de pregătire a suprafeţei caroseriilor vehiculelor.
1.10. T. Fest (R.P.U.): Rezultatele utilizării tehnologice a căldurii în procesele energetice ale uzinelor moderne de fabricare a azotului din Ungaria.
1.11. S. Denev, S. Nevenkin, R. Russev (R.P.B.): Unele căi de reducere a consumului de energie în industria cimentului.
1.12. R. Grigorov (R.P.B.): Evaluarea tehnică şi economică a eficacităţii utilizării aerului supraîncălzit în siderurgie.
1.13. S. Dmoleva (R.P.B.): Analiză comparativă a diferitelor tipuri de schimbătoare de căldură utilizate în industrie.
1.14. T. Toşev, S. Doncev (R.P.B.): Utilizarea resurselor energetice secundare pentru producerea aburului şi economisirea combustibililor în centralele termice.
1.15. B. Metcikov (R.P.B.): Influenţa utilizării căldurii fizice a gazelor de evacuare asupra parametrilor energetici ai morilor şi procesul tehnologic al fabricării cimentului.
1.16. T. Wodkiewicz (R.P.P.): Studiu asupra resurselor de energie pierdută în industria chimică din Polonia.
1.17. F. Fikus, C. Sajdak (R.P.P.): Aspecte ale consumului de energie şi economia realizată prin utilizarea instalaţiilor magneto-hidrodinamice la tratarea metalelor lichide în metalurgie.
1.18. I. Gutyina (R.P.U.): Excitarea economică a maşinilor sincrone.
1.19. M. Pawlik, J. Solecki (R.P.P.): Îmbunătăţirea exploatării energiei în industria textilă modernă prin utilizarea acumulatoarelor de căldură.
1.20. G. C. Suciu, M. Pătraşcu, E. Alexandrescu ş.a. (R.S.R.): Îmbunătăţirea performanţei energetice a unei instalaţii pentru distilarea ţiţeiului.
1.21. F. Setnicka (R.S.C.): Acumulator de căldură lichid: calculul capacităţii şi volumului.
1.22. C. Trifu (R.S.R.): Instalaţie pentru recuperarea energiei termice la compresoare şi transformarea acesteia în energie electrică.
1.23. Al. Florescu, N. Burchiu, T. Dragomir, M. Ghiţulescu (R.S.R.): Efectele energetice realizabile prin utilizarea pompei de căldură de 0,7 Gcal/h în schemele de recuperare a resurselor energetice secundare.
1.24. O. Adler, A. Gaba (R.S.R.): Reducerea conţinutului de energie al produselor siderurgice prin raţionalizarea consumului şi extinderea recuperării energiei secundare.
1.25. S. I. Bîkov, I. V. Kosterin, B. I. Lugovoi ş.a. (U.R.S.S.): Stadiul actual şi căile de creştere a eficienţei utilizării combustibilului şi energiei electrice şi termice în industria petrolieră.
1.26. E. I. Iantovski (U.R.S.S.): Schemă de utilizare a pompei termice în energetica industrială.
1.27. W. Fratzscher, K.-L. Rümenapp (R.D.G.): Îmbunătăţirea balanţei energetice prin utilizarea pompelor de căldură.
1.28. M. Negulici, O. Adler, A. Gaba (R.S.R.): Încălzirea prin cuptoarele de forjă.
1.29. Fl. Ardeleanu, Al. Măruţă (R.S.R.): Asigurarea navigabilităţii rîurilor şi canalelor în timpul iernii prin utilizarea resurselor energetice secundare.
1.30. E. Fercală (R.S.R.): Căi de reducere şi raţionalizare a consumurilor de energie şi combustibil în industria chimică.
1.31. Al. Forje ş.a. (R.S.R.): Tratarea componentei energie în procesele tehnologice industriale.
1.32. A. P. Egoricev, A. N. Zlatopolski, B. V. Sazanov (U.R.S.S.): Evaluarea eficienţei utilizării resurselor energetice secundare în întreprinderile industriale în condiţiile economiei socialiste.
1.33. A. Gaba, S. Vîlceanu, O. Adler ş.a. (R.S.R.): Condiţiile utilizării gazelor reziduale combustibile în industria siderurgică.

Secția 2 — Utilizarea combinată şi integrată a resurselor energetice primare şi secundare

2.1. N. Armencoiu, D. Renţea, D. Cojocaru (R.S.R.): Producerea combinată de energie electrică şi căldură — direcţie prioritară pentru satisfacerea necesităţilor de energie electrică şi de căldură în industrie.
2.2. V. I. Nitu, M. Stein, St. Diacon, G. Popescu (R.S.R.): Influenţa criteriilor de siguranţă în alegerea schemelor de insularizare ale centralelor electrice de termoficare pe un consum industrial.
2.3. I. Halzl (R.P.U.): Stadiul actual şi tendinţe de viitor ale producerii combinate de energie electrică şi căldură în domeniul alimentării cu căldură a industriei în Ungaria.
2.4. H. Eberlein (R.D.G.): Utilizarea resurselor energetice secundare în Republica Democrată Germană.
2.5. R. Kraevski, A. Sjodelski (R.P.P.): Alegerea metodei de producere a căldurii în uzinele industriei chimice.
2.6. N. Dănilă, V. Muşatescu (R.S.R.): Determinarea consumului specific de energie şi optimizarea producţiei complexe, ţinînd seama de energia înglobată.
2.7. N. Dănilă (R.S.R.), Bui hui Phung (R.S. Vietnam): Model matematic economic de optimizare a balanţei combustibil — energie pentru sistemele complexe utilizînd mai multe surse de energie.
2.8. W.-Ch. Reichel (R.D.G.): Limitele şi posibilităţile producerii şi exploatării combinate a energiei electrice şi căldurii în sectorul industrial.
2.9. H. Munser, G. Schmidt (R.D.G.): Utilizarea centralelor electrice de termoficare în alimentarea cu căldură urbană şi industrială.
2.10. M. Vrabec (R.S.C.): Analiza rezultatelor examinării centralelor termice şi tendinţele cererilor de căldură în zonele industriale şi urbane ale regiunii Slovaciei de vest.
2.11. I. Grigoriu (R.S.R.): Platformele industriale chimice — subsisteme energetice de termoficare care utilizează resurse energetice secundare cu nivel exergetic ridicat.
2.12. I. Carabogdan, N. Lemneanu ş.a. (R.S.R.): Studiul economiei energetice într-o mare aglomerare urbană-industrială.

* O parte a rapoartelor româneşti vor fi publicate în numărul următor al revistei „Energetica".

2.13. C. Fulga, Gh. Diac ş.a. (R.S.R.) : Îmbunătăţirea randamentului centralelor echipate cu turbine cu condensaţie şi prize, destinate producerii combinate de energie electrică şi căldură sub formă de apă caldă.

2.14. P. Enăchescu (R.S.R.) : Aspecte energo-tehnologice în instalaţiile de piroliză.

Secţia 3 — **Creşterea influenţei energeticii în economia industrială**

3.1. M. A. Viatkin ş.a. (U.R.S.S.) : Problemele creării unui sistem de creştere permanentă a gradului de utilizare în industrie a energiei (cu exemplificare din industria chimică).

3.2. V. V. Mihailov (U.R.S.S.) : Utilizările plasmei în energetică şi în tehnologiile industriale.

3.3. V. E. Arakelov ş.a. (U.R.S.S.) : Problemele energeticii industriale în diferite ramuri industriale.

3.4. V. Nitu, C. Trifu (R.S.R.) : Repartiţia geografică a resurselor energetice şi influenţa sa asupra dezvoltării economiei naţionale.

3.5. M. Machács, L. Pogány (R.P.U.) : Cercetarea şi dezvoltarea în economia de energie în Ungaria.

3.6. I. Bognár, S. Lengyel (R.P.U.) : Probleme actuale de energetică în domeniul lucrărilor rutiere.

3.7. F. Kozma (R.P.U.) : Menţinerea optimă a temperaturii cuptoarelor industriale în afara orelor de serviciu.

3.8. D. Boiagev (R.P.B.) : Calculul termoeconomic complex al sistemelor termice şi influenţa sa asupra alegerii variantei optime.

3.9. L. G. Hibbey (R.P.U.) : Ştiinţa şi tehnica conservării energiei, cu exemplificare din energetica industrială.

3.10. S. Gora, S. Tarasiewicz, C. Karwat (R.P.P.) : Metode de optimizare a consumului de energie electrică în industria cimentului.

3.11. A. M. Nekrasov, V. P. Koritnikov (U.R.S.S.) : Problemele unei valorificări eficiente şi economisirea resurselor energetice în U.R.S.S.

3.12. B. Popa ş.a. (R.S.R.) : Contribuţii privind mărirea randamentului termic al cuptoarelor de forjă şi tratamente termice.

3.13. K. Richter, W. Riesner (R.D.G.) : Folosirea consumului de energie materializată drept criteriu de apreciere a proceselor şi produselor.

3.14. V. Panţuru (R.S.R.) : Organizarea fluxului tehnologic în scopul reducerii consumului de energie electrică în industria zahărului.

3.15. R. Burbea, V. Răducanu ş.a. (R.S.R.) : Consumurile pe fază şi cumulate de resurse energetice pentru unele produse industriale.

3.16. Z. Kovalski, R. Menski (R.P.P.) : Metode de determinare a cheltuielilor datorate variaţiilor de tensiune în întreprinderi industriale.

3.17. Z. Bibrowski, W. Sroczynski (R.P.P.) : Cererile cumulate de energie în economia naţională.

3.18. H. Jungnickel (R.D.G.) : Domeniile principale şi rezultatele gospodăririi raţionale a energiei în Republica Democrată Germană.

3.19. F. Mercea, M. Pop (R.S.R.) : Căile de reducere a consumului de combustibil în industria sticlei şi ceramicii fine.

3.20. R. Manolache (R.S.R.) : Industria chimică — mare consumator de energie şi combustibil în economia naţională.

3.21. H. N. McCarl (S.U.A.), A. Puiu ş.a. (R.S.R.) : Funcţia consum specific de energie în cazul proceselor (instalaţiilor) de consum final.

3.22. L. Pătrăşescu (R.S.R.) : Determinarea secţiunii economice a cablurilor de joasă tensiune în reţelele uzinale.

3.23. C. Mihăileanu, A. Stoica, A. Perea (R.S.R.) : Corelarea nivelului de siguranţă în alimentarea cu energie electrică sau termică cu consumul propriu tehnologic, la consumatorii industriali.

3.24. Gh. Bălan, V. Rugină, D. Potlog (R.S.R.) : Influenţa tensiunii de alimentare asupra indicatorilor energetici ai unui cuptor cu arc.

Secţia 4 — **Perfecţionarea comenzii sistemelor energetice industriale**

4.1. G. A. Ghelman, M. G. Zimenkov, E. A. Soskin (U.R.S.S.) : Comanda automată centralizată şi controlul complex al sistemelor de alimentare cu energie a întreprinderilor industriale.

4.2. D. Ivas (R.S.R.) : Model pentru determinarea structurii optime a nodurilor sistemelor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali.

4.3. C. Mereuţă (R.S.R.) : Conducerea operativă în energetica industrială.

4.4. I. Nicolae (R.S.R.) : Influenţa fiabilităţii echipamentelor instalaţiilor de electroliză sodă-clor asupra consumului specific de energie electrică.

4.5. A. Măcriş (R.S.R.) : Aspecte privind utilizarea raţională a resurselor energetice la şantierele de montaj al centrale electrice.

4.6. H. Cristea, I. Fecioru, A. Armencoiu (R.S.R.) : Regimul electric al consumatorilor industriali şi efectele sale asupra funcţionării sistemului electroenergetic.

4.7. L. Lup (R.S.R.) : Model matematic pentru alegerea soluţiei de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali, ţinînd seama de cheltuielile totale.

4.8. O. Ţuţuianu (R.S.R.) : Fundamentări ale problemelor decizionale în organizarea conducerii sistemelor energotehnologice.

4.9. A. Poeată, M. Ciobanu (R.S.R.) : Determinarea golurilor de tensiune pe barele de alimentare a consumatorilor industriali utilizînd metode probabilistice.

4.10. P. Kvasnitza, St. Krochlak ş.a. (R.S.C.) : Diagramele de sarcină ale marilor consumatori industriali ca procedeu de alcătuire a diagramelor de sarcină de perspectivă pentru zone geografice.

4.11. G. Baghiev, B. Konstantinov (U.R.S.S.) : Probleme fundamentale ale creşterii eficienţei şi calităţii în conducerea sistemelor energetice industriale.

4.12. J. Mirá (R.P.U.) : Criterii de planificare a investiţiilor în vederea realizării de economii şi raţionalizări în întreprinderile mari consumatoare de energie.

4.13. M. Hilger, F. Sii (R.P.U.) : Studiul sistemului de conducere a unei fabrici de ciment din punct de vedere energetic.

4.14. S. Stoianov, Z. Zanev (R.P.B.) : Influenţa tehnologiei şi a organizării muncii asupra consumului de energie electrică în industria textilă.

4.15. I. Iliev (R.P.B.) : Probleme privind livrarea aburului uzinelor cu consum foarte variabil.

4.16. S. Kasabova (R.P.B.) : Analiza economică, mijloc de creştere a utilizării efective a resurselor energetice.

4.17. J. Michna (R.P.P.) : Prevederea diagramelor cererilor de purtători de energie ai unei întreprinderi industriale.

4.18. J. Michna, J. Michalik, R. Maciejewski (R.P.P.) : Prognozarea în domeniul gospodăriei energetice a uzinelor siderurgice cu ajutorul metodei „PATTERN".

4.19. Z. Kabza, B. Dobrowolski (R.P.P.) : Probleme privind utilizarea calculatoarelor în conducerea economică a întreprinderilor industriale.

4.20. L. S. Krilev, I. A. Smirnov (U.R.S.S.) : Probleme tehnice şi economice ale utilizării centralelor electrice de termoficare pentru livrarea de căldură industriei.

4.21. A. Wasowski, J. Bialek, M. Butkowski ş.a. (R.P.P.) : Evaluarea suprapunerii perioadelor de topire în timpul exploatării mai multor cuptoare cu arc de mare putere, cu ajutorul calculatoarelor electronice.

4.22. M. Kazubski, T. Garbino (R.P.P.) : Unele probleme de proiectare a reţelelor electroenergetice industriale.

4.23. Ch. Barthmann (R.D.G.) : Aspecte de generalizare a analizelor proceselor energetice la cuptoarele electrice de reducere.

4.24. G. Schwenker (R.D.G.) : Creşterea eficienţei utilizării resurselor energetice în noile instalaţii energointensive, prin aplicarea normelor privind consumul de energie în R.D.G.

4.25. B. Kudevita (R.D.G.) : Activitatea de inspecţie energetică — contribuţie la creşterea eficienţei utilizării resurselor energetice în industria R.D.G.

4.26. B. Schieferdecker (R.D.G.) : Utilizarea raţională a energiei privind eficienţa economică a întreprinderilor industriale.

4.27. V. Pfeiler, K. Liebscher (R.D.G.) : Determinarea impedanţei armonice de intrare a reţelei la locul de utilizare a instalaţiilor convertizoare de curent.

4.28. H. J. Derdulla, K.-H. Domhardt ş.a. (R.D.G.) : Analize complexe ale proceselor pentru reducerea consumului de energie în industria chimică.

4.29. H. Crisciu, A. Pană, L. Bilegan, S. Lazăr (R.S.R.) : Metode de optimizare a soluţiilor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali.

4.30. B. Marcu, E. Costin, S. Herşcovici (R.S.R.) : Criterii economice pentru reglajul curbelor de sarcină prin consumatorii reglabili.

4.31. K. V. Pavlovici (U.R.S.S.) : Unele aspecte ale profilaxiei traumatismelor electrice în energetica industrială.

4.32. B. Maerski, I. Rişca (R.P.P.) : Posibilitatea aplicării unor indicatori unitari ai consumului specific de energie pentru evaluarea utilizării combustibilului şi energiei în industria ţărilor membre ale CAER.

Secţia 5 — Perfecţionarea sistemelor energetice industriale şi a automatizării acestora. Efecte energetice şi economice

5.1. A. P. Egoricev, A. D. Neuimin, A. G. Iudin (U.R.S.S.) : Celule de electroliţi solizi pentru controlul conţinutului în oxigen şi al potenţialului de oxidare în întreprinderile siderurgice pentru metalurgia neferoasă.

5.2. B.S. Zamaraev, I. I. Soloduho, A. P. Tallagov (U.R.S.S.) : Îmbunătăţirea caracteristicilor energetice ale sistemului reţea — convertizor cu tiristori-motor.

5.3. E. Ceangă, I. Bivol, R. Duduica, C. Tutunaru (R.S.R.) : Reglarea optimă a cazanelor centralelor termoelectrice pe şisturi bituminoase, folosind criteriile de performanţă tehnico-economică.

5.4. H. Albert, A. Mihăilescu (R.S.R.) : Parametrii nodali de siguranţă caracterizînd alimentarea din sistem a consumatorilor industriali.

5.5. H. Albert, A. Cristovici, M. Iancu (R.S.R.) : Principiile organizării conducerii operative a instalaţiilor energetice ale platformelor industriale.

5.6. M. Ţăpuş, R. Savulian (R.S.R.) : Analiza incidentelor de exploatare din centralele termoelectrice cu ajutorul calculatorului de proces.

5.7. R. Savulian, M. Ţăpuş (R.S.R.) : Realizări şi perspective ale utilizării calculatoarelor de proces în centralele electrice din România.

5.8. H. Adonts, A. Avakimov (U.R.S.S.) : Comanda distribuţiei puterilor reactive ale consumatorilor din sistemul energetic.

5.9. Gh. Ijac, M. Diaconescu, Gh. Saviţescu ş.a. (R.S.R.) : Cercetări experimentale privind creşterea stabilităţii în funcţionare şi optimizarea unor procese de comandă a motoarelor sincrone.

5.10. J. Minar, K. Husner (R.S.C.) : Alegerea prin modelare a variantei optime de adaptare a cazanelor de abur funcţionînd pe praf cu granulaţie mare la arderea gazului natural.

5.11. P. Ţvetanov, P. Kutov (R.P.B.) : Aspecte principale ale organizării unui sistem automatizat de gospodărire a consumului de energie electrică în Bulgaria.

5.12. I. Beleznay, O. Onodi (R.P.U.) : Reducerea cheltuielilor şi protecţia mediului înconjurător prin utilizarea de aditivi de combustibili la cazanele industriale.

5.13. Z. Kovalski, I. Dombrowski (R.P.P.) : Rezultate economice obţinute prin modernizarea staţiilor de transformare în întreprinderile industriale.

5.14. Z. Bialkiewcz (R.P.P.) : Probleme privind reducerea distorsiunii tensiunii în reţeaua de alimentare a unei mine echipate cu maşini de extracţie cu tiristori de mare putere.

5.15. G. Batov, K. Şuşulov (R.P.B.) : Probleme de fiabilitate şi de redundanţă în sistemele industriale de distribuţie a căldurii.

5.16. S. Batov, K. Şuşulov (R.P.B.) : Estimarea intensităţii defectelor prin determinarea fiabilităţii reţelelor de distribuţie a căldurii.

5.17. Th. Cieselski, E. Urcan (R.S.R.) : Schemă modernă de reglare a apei de alimentare la blocurile funcţionînd pe combustibil inferior.

5.18. W. Osadski (R.S.C.) : Compensarea factorului de putere la cuptoarele cu arc electric.

5.19. Gh. Bărbulescu (R.S.R.) : Unele aspecte ale creşterii eficienţei şi siguranţei în funcţionare a motoarelor sincrone în siderurgie.

5.20. V. Rihterova (R.S.C.) : Din ce cauză există probleme de exploatare la preîncălzitoarele şi răcitoarele de contact.

5.21. A. I. Dihno, N. A. Meşcerski (U.R.S.S.) : Prepararea apei de adaos pentru cazanele de capacitate mică.

5.22. F. Kloeppel, D. Balzer, G. Neumann, H. Roman (R.D.G.) : Stabilirea producţiei în întreprinderile industriale cu ajutorul comenzii operative anti-avarie a sistemului energetic (etape de pregătire).

5.23. E. Gatman (R.S.R.) : Aspecte chimice preponderente la determinarea calităţii combustibililor cu conţinut ridicat de balast şi influenţa lor asupra exploatării instalaţiilor termoenergetice.

5.24. J. Krijan, I. Slavik (R.S.C.) : Electronica de putere şi aplicaţiile sale în industrie.

De la Comitetul național român al Conferinței Mondiale a Energiei

În septembrie a.c. au avut loc, în localitatea Banff din provincia Alberta, Canada, lucrările Consiliului executiv internațional al Conferinței Mondiale a Energiei.

La lucrări au participat 174 delegați din 47 țări, România fiind reprezentată de secretarul Comitetului național.

Odată cu lucrările Consiliului executiv, și-au desfășurat lucrările și organismele operative ale Conferinței, programul general de desfășurări al manifestărilor fiind următorul:

— sîmbătă 16 septembrie, ședințele de lucru ale:
  — Comitetului consultativ pentru resursele de energie;
  — Comisiei asupra termenelor de utilizat în energetică;
  — Comitetului privind informarea în energetică;
  — Comitetului de programe;
— duminică 17 septembrie, ședințele de lucru ale:
  — Comitetului administrativ;
  — Comitetului ad-hoc privind disponibilitatea centralelor termoelectrice;
  — Comitetului ad-hoc pentru pompe termice și termoficare;
  — Comisiei de conservare a energiei — ședința I;
  — Grupului de lucru privind problemele energiei în țările în curs de dezvoltare;
— luni 18 septembrie, festivitatea de deschidere a lucrărilor Consiliului executiv internațional și primele două ședințe ale acestuia;
— marți 19 septembrie, prezentarea raportului final al Comisiei de conservare a energiei;
— miercuri 20 septembrie, a 3-a și a 4-a ședință a Comitetului executiv internațional;
— joi 21 septembrie, Simpozionul energiei în Canada și prezentarea primelor versiuni ale raportului Comitetului pentru pompe termice și ale Comitetului pentru termoficare.

Agenda de lucru a Consiliului executiv internațional a avut 27 puncte, atingînd atît probleme ale realizărilor curente ale organismelor CME, cît și probleme de perspectivă ale activității organizației. S-au discutat, de asemenea, probleme financiare și modul în care a fost gospodărit bugetul organizației (circa 87 000 £), precum și primirea unui nou membru în cadrul organizației — Singapore.

România participă la activitățile Conferinței Mondiale a Energiei ca membră cu puteri depline în:

— Comisia de conservare — prin conf. dr. ing. Călin Mihăileanu, director general al ICCE;
— Comitetul ad-hoc de disponibilitate a centralelor termoelectrice — prin prof. dr. doc. ing. Vasile Nitu, director adjunct ISPE, președintele comitetului,

și, de asemenea, cu mandat de membru corespondent în cadrul lucrărilor Comitetelor ad-hoc pentru pompe termice și pentru termoficare.

Accentul principal al lucrărilor Consiliului executiv internațional în anul acesta a fost pus pe analiza raportului final al Comisiei de conservare, precum și pe analiza modului în care își va desfășura lucrările această comisie în intervalul pînă la cea de-a XI-a Conferință Mondială a Energiei, care se va desfășura la München, R. F. Germania, în septembrie 1980.

În cele ce urmează se prezintă cîteva dintre ideile principale care au rezultat în urma analizei raportului final al Comisiei de conservare.

S-a decis de asemenea că pentru tratarea cu prioritate în perioada ce urmează, de către această comisie, a problemelor de conservare a energiei, este necesar, după consumarea etapei încheiate prin raportul de la Banff, ca ea să coordoneze și lucrările Comitetelor ad-hoc pentru pompe termice și pentru termoficare, acordînd de asemenea importanța cuvenită energeticii industriale, ca mijloc eficient de economisire a energiei primare.

Lucrările Comisiei de conservare

Activitatea Comisiei de conservare a constat, de la înființarea ei, în 1975, și pînă în 1978, în evaluarea mijloacelor de îmbunătățire a producerii de energie din resurse epuizabile și neepuizabile, precum și a modului posibil în care se va face înlocuirea gazului natural și a țițeiului din utilizări energetice, cu alte surse de energie epuizabile existente mai abundent sau neepuizabile, ca și a celor de reducere a consumului de energie.

Sînt încă în discuție efectele anumitor resurse, ca, de exemplu, nisipurile bituminoase, forajul submarin de mare adîncime, care vor influența piața combustibililor după anul 2000.

De asemenea, a fost prezentat modul cum va evolua producția de cărbune în ipoteza

că actuala politică de prețuri este păstrată. Se pare că producția de cărbune va depăși mult previziunile studiului.

Reducerea consumului de energie pe ansamblul unei economii este o măsură cu efecte de moment, deoarece în timp echipamentele nou construite țin seama de măsurile de economisire a energiei aplicate după construcție unor utilaje mai vechi, deja în exploatare, existînd astfel, în general, o tendință de reducere a consumului încă de la proiectarea de noi echipamente.

Desigur, producerea de energie nu are nici un sens fără corelarea acesteia cu cererea de energie. Cererea de energie se știe că este dependentă de dezvoltarea demografică, socială, politică și economică a diverselor regiuni și deci este foarte greu de prevăzut ca valoare.

A fost încercată o prognoză bazată pe regiuni geo-economice ale globului, în care s-au luat în considerare anumite ipoteze privind prețul energiei, măsuri de conservare a energiei și creșterea economică.

„Scenariile" dezvoltate reprezintă doar o *bază de discuție* privind creșterea de energie și au inclus și ipoteza impunerii unor măsuri restrictive intense asupra cererii de energie, deși se crede că o astfel de situație va putea fi evitată în viitorul apropiat dacă se iau măsuri serioase și din timp pentru echilibrarea cererii posibile cu resursele probabile de energie.

În urma raportului final al Comisiei de conservare a rezultat clar că, deși resurse de cărbune și uraniu sînt suficiente pentru cîteva generații, totuși dezvoltarea lor la nivelul necesarului de energie al anului 2020 cere pe puțin 30—40 de ani; deci acțiuni clare și decise sînt necesare imediat pentru a asigura o dezvoltare continuă, proporțională a acestor resurse de înlocuire a gazelor naturale și petrolului.

Trebuie reținut că, la nivel mondial, în anul 2020 contribuția energiei nucleare la producerea de energie electrică nu va depăși 50—60%, și aceasta doar cu un nivel foarte ridicat al cooperării internaționale în realizarea de echipament nuclear. În acest context sînt necesare acțiuni urgente pentru a promova dezvoltarea atît a resurselor de uraniu cît și a tehnologiilor nucleare în general.

Sursele noi de energie vor acoperi peste 50% din cererea de energie abia peste aproape un secol, și aceasta presupunînd că rata de pătrundere a acestora va fi mai ridicată decît aceea înregistrată istoric de gazul natural.

Pentru moment, se pare că dezvoltarea economică viguroasă a anului 2020 va fi de neconceput fără măsuri de economisire a energiei și de eliminare a oricărei risipe, luate cît mai repede și mai complet de toate națiunile, urmate de o dezvoltare intensă a tuturor surselor de energie.

Lucrările Comitetului ad-hoc privind disponsibilitatea centralelor termoelectrice

La Banff lucrările s-au desfășurat în cadrul acestui comitet astfel:

— sîmbătă 16 septembrie, o reuniune neoficială pregătitoare;
— duminică 17 septembrie, reuniunea comitetului;
— luni 18 septembrie a fost prezentat Consiliului executiv internațional raportul de lucru al comitetului, care a consemnat depășirea unei faze foarte dificile din lucrările acestuia, și anume acceptarea unui chestionar asupra fiabilității componentelor centralelor termoelectrice adresat tuturor țărilor membre C.M.E.

Pe baza răspunsurilor la aceste chestionare urmează să se alcătuiască un studiu asupra fiabilității echipamentelor la nivel mondial, care se va prezenta celei de-a XI-a Conferințe Mondiale a Energiei, la München în 1980.

Prelucrarea datelor de fiabilitate va fi efectuată în comun de Franța și România.

Concluzia principală a reuniunii de la Banff a fost necesitatea luării imediate a unor măsuri energice privind asigurarea omenirii cu energie în deceniile ce urmează.

În acest sens, concomitent cu restrîngerea consumului de petrol și gaze naturale, sînt necesare măsuri de conservare a energiei, de extindere a utilizării cărbunelui și a energiei nucleare, cu finanțarea necondiționată a programelor de cercetare în domeniul surselor noi de energie.

*

Cea de-a XI-a Conferință Mondială a Energiei își va desfășura lucrările între 8 și 12 septembrie 1980 la München, în R. F. Germania. Președintele Comitetului de organizare pentru această conferință este Dr. P. von Siemens, președintele Consiliului de administrație al firmei Siemens.

Tema conferinței va fi: „Energie pentru lumea în care trăim". Obiectivul principal al conferinței va fi acela de a arăta importanța alimentării cu energie în condiții de siguranță din surse cît mai variate posibil, insistîndu-se asupra interacțiunii între următorii factori:

— dezvoltarea societății;
— existența surselor de energie și posibilitățile lor de utilizare;
— protecția și îmbunătățirea condiției mediului ambiant.

Rapoartele ce se vor prezenta trebuie să includă pe cît posibil corelări ale elementelor de mai sus.

Programul tehnic are patru capitole:

— Capitolul 1. *Alimentarea cu energie.*
— Capitolul 2. *Societatea și energia.*
— Capitolul 3. *Energia și mediul ambiant.*
— Capitolul 4. *Societatea, energia și mediul ambiant.*

Programul tehnic poate fi consultat la *Secretariatul Comitetului național român al Conferinței Mondiale a Energiei, ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, Bloc administrativ, et. III, camera 301, tel. 21 32 41.*

Instituțiile care doresc să prezinte rapoarte la această conferință sînt rugate să trimită propunerile pînă la data de **10 ianuarie 1979**, furnizînd următoarele informații:

— *Numele autorilor și instituția.*
— *Titlul raportului, însoțit de un rezumat de circa 100 cuvinte.*

Pe baza propunerilor făcute se vor selecta, pînă la 15 ianuarie 1979, lucrările ce vor constitui contingentul de trei rapoarte afectat Comitetului național român.

Dr. ing. **Mihai G. M. Pop,**
secretarul CNR al CME

Recenzii

T. POPA, A. BACIU şi T. LASZLO. **Avarii în instalaţiile energetice.** Editura tehnică, Bucureşti, 1978, 336 p.

Apariţia recentă a lucrării cu titlul de mai sus reprezintă fără îndoială un nou şi valoros aport la cunoaşterea cauzelor şi a măsurilor de prevenire a defectării echipamentelor şi a producerii avariilor în sistemul energetic — latură esenţială a activităţii tuturor energeticienilor.

Asigurarea continuităţii în alimentarea cu energie electrică şi căldură este una dintre cele mai importante cerinţe de ordin calitativ pusă activităţii ce se desfăşoară în industria energetică.

De această cerinţă, a cărei importanţă a fost subliniată deseori de conducerea de partid şi de stat, este legată necesitatea de funcţionare a echipamentelor energetice cu un număr cît mai redus de defecţiuni.

Pentru aceasta activitatea de prevenire a defecţiunilor şi avariilor trebuie dusă în mod sistematic, ceea ce implică în primul rînd cunoaşterea cauzelor şi modului de dezvoltare a defecţiunilor.

În acest sens, în lucrarea recenzată se prezintă descrierea principalelor tipuri de avarii şi defecţiuni în industria energetică şi se analizează cauzele producerii lor. Analiza cuprinde atît elemente teoretice cît şi exemple de avarii şi defecţiuni pentru ilustrarea principiilor expuse.

Cartea include şi cîteva elemente de calcul, avînd au ca scop numai o prezentare sintetică a factorilor care influenţează producerea unor fenomene legate de defecţiunile şi avariile analizate. Consideraţiile privind cauzele avariilor sînt completate cu prezentarea şi descrierea unor metode de localizare şi prevenire a acestora.

Lucrarea este structurată pe opt capitole şi tratează atît echipamentele şi instalaţiile mecanice din centralele termoelectrice, cît şi echipamentele şi instalaţiile electrice din centralele şi reţelele electrice. Fiecare capitol este urmat de bibliografia principală aferentă, cartea conţinînd în total 256 referinţe bibliografice.

Capitolul 1 (Generalităţi) defineşte noţiunile folosite în lucrare şi prezintă problemele de interes general, pentru toate categoriile de instalaţii : metodele de analiză individuală şi globală, utilizarea sistemelor informaţionale, efectele interconectării sistemelor electroenergetice naţionale asupra gradului de siguranţă în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Capitolul 2 cuprinde o prezentare succintă a tipurilor de avarii produse în instalaţiile termomecanice ale centralelor electrice şi cauzele lor. De asemenea, capitolul 2 are scopul de a prezenta o imagine de ansamblu a defecţiunilor, grupate pe tipuri de echipamente, precum şi a formelor de manifestare, cu indicarea fenomenelor care le generează.

În capitolul 3 este abordat modul de producere şi măsurile de prevenire a principalelor tipuri de avarii din instalaţiile termomecanice ale centralelor electrice. Se prezintă aspectele fizice şi chimice ale fenomenelor analizate, însoţite de exemple de defecţiuni, pentru ilustrarea consideraţiilor cu caracter general, care le preced.

Acest capitol include şi elemente de calcul, cu scopul de a preciza diferiţii factori care influenţează şi determină fenomenele şi, în acelaşi timp, de a furniza informaţii de natură cantitativă.

Prin specificul lor, elementele de calcul cuprinse în capitolul 3 al cărţii s-au limitat la scopurile arătate şi nu constituie deci un îndrumător.

În capitolul 4 se prezintă cîteva posibilităţi de localizare a defecţiunilor în echipamentele termomecanice ale centralelor electrice, fiind descrise pentru exemplificare cîteva cazuri semnificative.

Capitolul 5 se ocupă de avariile caracteristice instalaţiilor electrice, grupate după criteriul locului de apariţie : linii electrice aeriene sau subterane, staţii de transformare şi de conexiune (atît pentru comutaţia primară, cît şi pentru comutaţia secundară), transformatoare şi generatoare. La sfîrşitul acestui capitol sînt prezentate avariile caracteristice ale sistemului energetic, precum şi măsurile pentru prevenirea şi limitarea efectelor lor.

Capitolul 6 analizează condiţiile de producere a avariilor din instalaţiile electrice şi tehnica prevenirii lor. În cadrul condiţiilor de producere a avariilor sînt abordate suprasolicitările electrice, termice şi mecanice, inclusiv acţiunile exterioare (datorate poluării, coroziunii, personalului). În a doua parte a capitolului, în cadrul tehnicilor de prevenire a avariilor din instalaţiile electrice, este analizată mentenanţa acestora, cu cele două laturi ale sale : mentenanţa preventivă şi mentenanţa corectivă.

Capitolul 7 abordează metodele moderne de localizare şi de remediere a defectelor din instalaţiile electrice, grupate pe elemente : linii electrice aeriene sau subterane, staţii de transformare şi de conexiuni, transformatoare, generatoare. În ultima parte a capitolului este prezentat modul de organizare a intervenţiilor în reţelele electrice de către echipele specializate.

Ultimul capitol al lucrării este rezervat principiilor pe care se bazează măsurile pentru limitarea efectelor avariilor : alegerea corespunzătoare a schemelor, protecţii şi automatizări.

Trecerea foarte sumară în revistă a conţinutului lucrării scoate în evidenţă faptul că aceasta cuprinde aproape în întregime întreaga gamă de defecţiuni şi avarii ce pot apărea în instalaţiile de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi termice.

Tratarea unitară a domeniului defecţiunilor şi avariilor din industria energetică pune la dispoziţia cititorului interesat în aceste probleme un bogat material documentar cu un profund caracter practic-aplicativ, de o absolută necesitate.

Prin conţinutul său, lucrarea se adresează în primul rînd personalului tehnico-inginerese care activează în domeniul exploatării instalaţiilor energetice. Prin nivelul şi specificul său, cartea se adresează în egală măsură şi studenţilor, precum şi cadrelor didactice din specialităţile energetică, electrotehnică şi construcţii de maşini termoenergetice.

Este neîndoielnic faptul că, după apariţia în aceeaşi editură, în anul 1969, a lucrării „Exploatarea şi repararea reţelelor electrice" (autori A. Baciu şi T. Laszlo), cartea la care ne referim reprezintă o nouă contribuţie la îmbogăţirea literaturii de specialitate a domeniului, contribuţie de mult aşteptată în special de energeticienii din exploatarea şi întreţinerea instalaţiilor energetice.

ing. Romulus Sfichi

Inginerul EMIL PRAGER la vîrsta de 90 de ani

La sfîrşitul lunii august, inginerul Emil Prager, unul dintre cei mai eminenţi constructori în viaţă din ţara noastră, a împlinit 90 de ani, sărbătorind cu acelaşi prilej 65 de ani de activitate profesională.

Alăturăm felicitările şi urările noastre celor exprimate de toţi colegii şi prietenii săi.

Emil Prager şi-a început cariera de inginer constructor în anul 1912, în cadrul Direcţiei generale de porturi şi căi de comunicaţii pe apă din Ministerul Lucrărilor Publice. Primii ani ai activităţii sale i-a făcut sub îndrumarea unor constructori eminenţi : Anghel Saligny, Elie Radu, Ion Ionescu-Bizeţ şi alţii.

În vasta sa activitate de constructor, inginerul Emil Prager a împînzit ţara şi capitala cu lucrări de construcţii civile şi industriale : căi ferate şi lucrări de artă, centrale electrice, industrii şi clădiri administrative, între care : actualul sediu al Comitetului Central al P.C.R., aripa nouă a Palatului R.S.R., aripa nouă a Băncii Naţionale şi altele. Toate lucrările executate sub directa sa conducere sînt exemple de şantiere foarte bine organizate, cu grad avansat de mecanizare şi de o deosebită calitate, dovedită de faptul că toate construcţiile au trecut cu succes încercările a două cutremure.

Inginerul Emil Prager a activat în cadrul Ministerului Energiei Electrice peste 28 de ani. O bună parte din acest interval a făcut parte din colectivul de conducere al Trustului de construcţii şi montaje energetice. În cadrul acestei activităţi a contribuit cu succes la rezolvarea unor probleme tehnice şi economice puse de construirea unor importante obiective energetice. În continuare a fost consilier în Direcţia tehnică şi în prezent este membru al Consiliului tehnico-economic al ministerului.

În toată activitatea sa, ing. Emil Prager a pus în valoare o pregătire tehnico-ştiinţifică de excepţie — vestita Şcoală de poduri şi şosele din Bucureşti — şi o experienţă deosebit de vastă. În mod concret, în toate categoriile de lucrări energetice : centrale termo şi hidroelectrice, staţii de transformare şi linii electrice, se regăseşte şi contribuţia inginerului Emil Prager, care a participat şi la analiza unor probleme dificile legate de comportarea unor construcţii, dovedind un deosebit simţ ingineresc, precum şi cunoaşterea şi înţelegerea fenomenelor fizice.

Inginerul Emil Prager este un exemplu pentru colegii săi şi pentru toţi inginerii români. Pe lîngă calităţile de excepţional organizator al variatelor activităţi din sectorul construcţiilor, trebuie să reamintim modestia, spiritul de disciplină, comportamentul colegial şi modul de abordare cu seriozitate şi răspundere a sarcinilor, chiar şi a celor mărunte. De asemenea, trebuie să accentuăm că în toate problemele pe care le rezolvă, ing. Emil Prager urmăreşte adoptarea soluţiilor celor mai moderne şi economice cunoscute din literatura de specialitate şi experienţa construcţiilor din toată lumea.

Trebuie să menţionăm încă un element semnificativ, cunoscut de toţi cei care l-au întîlnit : în orice domeniu al ştiinţei şi culturii abordat de ing. Emil Prager, nu numai că dovedeşte o cunoaştere a elementelor clasice ale subiectului şi a aspectelor şi informaţiilor celor mai noi, dar, mai mult, pătrunde în esenţa lucrurilor cu o filozofie proprie, materialistă şi ştiinţifică.

După o activitate profesională cu o durată mai mare decît o viaţă de om, neobositul inginer Emil Prager continuă mai multe activităţi, dintre care considerăm că cea mai importantă este pregătirea publicării în volum a primei părţi a „Istoriei betonului armat", istorie trăită de inginerul Emil Prager, care a contribuit în mod deosebit la dezvoltarea tehnicii betonului armat în România. Dorim ca publicarea volumului anunţat să fie urmată şi de alte lucrări din experienţa realizării construcţiilor din România, deoarece sîntem convinşi că ele sînt necesare atît pentru difuzarea largă a unei experienţe vaste cît şi pentru înscrierea pentru viitor a realizărilor şi contribuţiilor inginerilor români.

Sîntem convinşi că tovarăşul Emil Prager va păstra mulţi ani tinereţea spirituală pe care într-un fel i-o invidiem, va continua să contribuie la rezolvarea unor probleme majore ale construcţiilor din ţara noastră şi să ne transmită valoroasa experienţă acumulată într-o activitate profesională de peste 65 de ani, activitate încununată de un deosebit succes.

La mulţi ani !

Călin Mihăileanu,
preşedintele Consiliului ştiinţific
al Institutului central de cercetări energetice

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România. Redacţia: Bucureşti, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 4. Telefon: 21 46 30 Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Preţul unui exemplar: 5 lei. Taxele poştale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I.P.I. c. 680

41 401

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8 Sectorul 4. Telefon: 21 46 30. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I. P. I. c. 680

41 401

1979 FEB 2

E 2039

MW

R
BELGIALVA

11–12

VOLUMUL XXVI
BUCUREȘTI
NOIEMBRIE-DECEMBRIE 1978

energetica

0 6 12 18 24

Revista apare sub îndrumarea
Consiliului științific
al Institutului central de cercetări energetice

1979 APR 9

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 26 Nr. 11–12 noiembrie – decembrie

Cuprinsul

A IX-A CONFERINŢĂ INTERNAŢIONALĂ DE ENERGETICĂ INDUSTRIALĂ
Bucureşti, 4–9 septembrie 1978

		Pag.
Trandafir Cocârlă	**Cuvîntarea de deschidere la cea de-a IX-a Conferinţă Internaţională de Energetică Industrială**	377–379
Secţia 1. *Raport general:*	**CREŞTEREA RANDAMENTELOR ENERGETICE ALE PROCESELOR INDUSTRIALE**	380–385
N. Armencoiu, D. Renţea şi L. Ghioca	**Unele soluţii privind valorificarea resurselor energetice secundare din România**	386–390
E. Fercală	**Căi de reducere şi raţionalizare a consumurilor de energie şi combustibili în industria chimică**	391–396
Al. Florescu, Natalia Burchiu, T. Dragomir şi M. Ghiţulescu	**Efecte energetice realizabile prin utilizarea pompei de căldură de 0,7 Geal/h în schemele de recuperare a resurselor energetice secundare**	397–401
T. Berinde, I. Lazăr şi R. Resiga	**Economia de combustibil în tehnica pompelor de căldură**	401–404
Secţia 2. *Raport general:*	**UTILIZAREA COMBINATĂ ŞI INTEGRATĂ A RESURSELOR ENERGETICE PRIMARE ŞI SECUNDARE**	405–407
V. I. Nitu, M. Stein, St. Diaconu şi G. Popescu	**Influenţa criteriilor de siguranţă în alegerea schemelor de insularizare a centralelor electrice de termoficare pe un consum industrial**	408–415
N. Dănilă şi V. Muşatescu	**Determinarea consumurilor specifice cumulate de energie şi optimizarea producţiei complexe ţinînd seamă de energia înglobată**	415–418
P. Enăchescu	**Aspecte energotehnologice la instalaţiile de piroliză**	418–420
Secţia 3. *Raport general:*	**CREŞTEREA INFLUENŢEI ENERGETICII ÎN ECONOMIA INDUSTRIALĂ**	421–425
R. Burbea, Viorica Răducanu, Rodica Miroiu şi Gabriela Nertea	**Consumurile de fază şi cumulate de resurse energetice pentru unele produse industriale**	426–430
V. Panţuru–	**Organizarea fluxului tehnologic în scopul reducerii consumului de energie electrică în industria zahărului**	430–434
H.N. McCarl, A. Puiu, G. Preda, I. Nicuţ, M. Giuvelea şi V. Preda	**Funcţia consum specific de energie în cazul proceselor (instalaţiilor) de consum final**	434–439
C. Mihăileanu, A. Stoica şi Angela Perea	**Corelarea nivelului de siguranţă în alimentarea cu energie electrică sau termică cu consumul propriu tehnologic, la consumatorii industriali**	439–444
Gh. Bălan, V. Rugină şi D. M. Pollog	**Influenţa tensiunii de alimentare asupra indicatorilor energetici ai unui cuptor cu arc**	444–447
Secţia 4. *Raport general:*	**PERFECŢIONAREA CONDUCERII SISTEMELOR ENERGETICE INDUSTRIALE**	448–451
B. Marcu, Em. Costin şi Sanda Herşcovici	**Criterii economice pentru reglarea curbelor de sarcină prin consumatori reglabili**	452–455
H. Crişciu, A. Pană, Liana Bilegan şi Simina Lazăr	**Metode de optimizare a soluţiilor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali**	456–459
O. Ţuţuianu	**Fundamentări ale problemelor decizionale în organizarea şi conducerea sistemelor ernergotehnologice**	459–461
A. Măcriş şi D. Filitti	**Aspecte privind utilizarea raţională a resurselor energetice la şantierele de montaj al centralelor electrice**	461–465
Secţia 5. *Raport general:*	**PERFECŢIONAREA SISTEMELOR ENERGETICE INDUSTRIALE ŞI A AUTOMATIZĂRII ACESTORA. EFECTE ENERGETICE ŞI ECONOMICE**	466–472
Th. Ciselski şi Elvira Urcan	**Schemă modernă de reglare a apei de alimentare la blocurile funcţionînd pe combustibil inferior**	473–475
Hermina Albert şi Anca Mihăilescu	**Parametrii nodali de siguranţă, caracterizînd alimentarea din sistem a consumatorilor industriali**	476–481
E. Ceangă, I. Bivol, R. Duduica, C. Tutunaru	**Modelarea optimă a cazanelor din centralele termoelectrice pe şisturi bituminoase utilizînd criteriile de performanţă tehnico-economică**	481–485
Gh. Bărbulescu	**Unele aspecte ale creşterii eficienţei şi siguranţei funcţionării motoarelor sincrone în siderurgie**	485–490

СОДЕРЖАНИЕ

IX-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Секцка I. *Генералъный доклад*: **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КПД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ** стр. 380—385

Н. Арменкою., Д. Ренцеа., Л. Гиока: **Некоторые решения по использованию вторичных энергетических ресурсов в С. Р. Румынии** стр. 386—390

Е. Феркалэ: **Пути снижения и рационализации потребления энергии и топлива в химической промышленности** стр. 391—396

А. Флореску., Н. Буркиу., Т. Драгомир., М. Гицулеску: **Энергетические эффекты, реализуемые путем использования теплового насоса 0,7 Гкал в схемах по рекуперации вторичных энергетических ресурсов** стр. 397—401

Т. Беринде., И. Лазэр., Р. Ресига: **Экономия топлива в технике тепловых насосов** стр. 401—404

Секция 2. *Генералъный доклад*: **КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ** стр. 405—407

В. И. Ниту., М. Штейн., С. Диакону., Г. Попеску: **Влияние критериев надежности на выбор схем для отделения от энергосистемы теплоэлектростанций на промышленной нагрузке** стр. 408—415

Н. Дэнилэ., В. Мушатеску: **Относительно определения удельного потребления энергии и оптимизация комплексного производства, учитывая количество потребляемой энергии** стр. 415—418

П. Енэкеску: **Энерго-технологические аспекты на пиролизных установках** стр. 418—420

Секция 3. *Генералъный доклад*: **РОСТ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ** стр. 421—425

Р. Бурбя., В. Рэдукану., Р. Мирою., Г. Нертя: **Фазные и глобальные потребления энергетических ресурсов для некоторых промышленных изделий** стр. 426—430

В. Панцуру: **Организация технологического потока в целях снижения энергии в сахарной промышленности** стр. 430—434

Н. Н. Мк. Карл., А. Пуйу., Г. Преда., И. Никуц., М. Джувеля., В. Преда., Д. Сэвяну: **Функция — удельное потребление энергии при процессах (установках) конечного потребления** стр. 434—439

К. Михэиляну., А. Стойка., А. Перя: **Корреляция уровня надежности с питанием собственных технологических нужд промышленных потребителей** стр. 439—444

Г. Бэлан., В. Руджинэ., Д. Потлог: **Влияние напряжения питания на энергетические показатели электродуговой печи** стр. 444—447

Секциа 4. *Генералъный доклад* — **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ** стр. 448—451

Б. Марку., Э. Костин., С. Гершкович: **Экономические критерии для регулирования кривых нагрузки путем использования буферных потребителей** стр. 452—455

Х. Крищиу., А. Панэ., Л. Билеган., С. Лазэр: **Методы оптимизации решений по снабжению электрической энергией промышленных потребителей** стр. 456—459

О. Цуцуяну: **Обоснование вопросов по принятию решений в организации руководства электроэнергетических систем** стр. 459—461

А. Мэкриш., Д. Филитти: **Аспекты, касающиеся рационального использования энергетических ресурсов на местах монтажа электрических станций** стр. 461—465

Секциа 5. *Генералъный доклад*: **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ** стр. 466—472

Т. Чиселъски., Э. Уркан: **Современная схема регулирования питательной воды на группах, работающих на топливе низкого качества** стр. 473—475

Х. Алберт., А. Михэилеску: **Узловые параметры надежности, характеризующие питание системы промышленных потребителей** стр. 476—481

Е. Чеангэ., И. Бивол., Р. Дудуйка., К. Тутунару: **Исследование оптимизации относительно технических и экономических критериев систем автоматического управления термоэнергетических установок, работающих на битуминосных сланцах** стр. 481—485

Г. Бэрбулеску: **Некоторые аспекты роста эффективности и надежности работы синхронных двигателей в черной металлургии** стр. 485—490

INHALTSVERZEICHNIS

DIE IX. INTERNATIONALE KONFERENZ FÜR INDUSTRIELLE ENERGIEWIRTSCHAFT

1. Sektion. *Generalbericht*: **ERHÖHEN DES ENERGETISCHEN WIRKUNGSGRADES DER INDUSTRIELLEN VORGÄNGEN** S. 380—385

N. Armencoiu, D. Rentea und *L. Ghioca*: **Einige Lösungen hinsichtlich der sekundären Energiequellen aus Rumänien** S. 386—390

E. Fercală: **Wege zur Verminderung und Rationalisierung des Energie-und Brennstoffverbrauchs in der chemischen Industrie** S. 391—396

Al. Florescu, Natalia Burchiu, T. Dragomir und *M. Ghiţulescu*: **Energetische Wirkungen der Anwendung der 0,7 Geal/h Wärmepumpe in den Rückgewinnungsschemas der Abfallenergiequellen** S. 397—401

T. Berinde, I. Lazăr und *R. Resiga*: **Brennstoffersparnis durch thermische Pumpen** S. 401—404

2. Sektion. *Generalbericht*: **GEKOPPELTE UND INTEGRIERTE ANWENDUNG DER PRIMÄR—UND SEKUNDÄRENERGIEQUELLEN** S. 405—407

V. I. Nitu, M. Stein, St. Diaconu und *G. Popescu*: **Einfluss der Betriebszuverlässigkeit zur Auswahl der Inselbetriesschemen der Fernheizkraftwerken auf einem industriellen Verbrauch**
S. 408—415

N. Dănilă und *V. Mușatescu*: **Über die Bestimmung des spezifischen Energieverbrauchs und die Optimierung der komplexen Erzeugung unter Berücksichtigung der angewandten Energie**
S. 415—418

P. Enăchescu: **Energie und verfahrenstechnische Gesichtspunkte in der Pyrolisenanlage**
S. 418—420

3. Sektion. *Generalbericht*: **DIE ZUNAHME AN BEDEUTUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT FÜR DIE INDUSTRIEWIRTSCHAFT**
S. 421—425

R. Burbea, Viorica Răducanu u.a.: **Die energetische Hilfsquelle des kumulierten- und Phasenverbrauchs für verschiedene Industrieerzeugnisse**
S. 426—430

V. Panțuru: **Organisierung des technologischen Flusses zwecks Verminderung des Elektroenergieverbrauchs in der Zuckerindustrie**
S. 430—434

H. N. McCarl, A. Puiu u.a.: **Die Funktion spezifische Energie-verbraucher im Falle von Prozessen (Anlagen) mit Endeverbrauch**
S. 434—439

C. Mihăileanu, A. Stoica und *Angela Perea*: **Korrelation des Sicherheitsniveaus der elektrischen und thermischen Energiespeisung mit dem eigenen technologischen Verbrauch bei den Industrieverbrauchern**
S. 439—444

Gh. Bălan, V. Rugină und *D.M. Potlog*: **Einfluss der Speisespannung auf den energetischen Kennwerten eines Lichtbogenofens**
S. 444—447

4. Sektion. *Generalbericht*: **VERBESSERUNG DER LEITUNG INDUSTRIELLEN ENERGIESYSTEMEN**
S. 448—451

B. Marcu, Em. Costin und *Sanda Herșcovici*: **Ökonomische Kriterien bezüglich der Regelung der Lastkurven mit Hilfe der regelbaren Verbrauchern**
S. 452—455

H. Crișciu, A. Pană, Liana Bilegan und *Simina Lazăr*: **Methoden zur Optimierung der Elektroenergieversorgungslösungen für industrielle Verbraucher**
S. 456—459

O. Țufuianu: **Begründung der Entscheidungen in Organisierung von Leitungen der energotechnologischen Systeme**
S. 459—461

A. Măcriș und *D. Filitti*: **Aspekte bezüglich der rationellen Anwendung von Energiequellen auf den Baustellen der Kraftwerken**
S. 461—465

5. Sektion. *Generalbericht*: **VERBESSERUNG DER INDUSTRIELLEN ENERGIESYSTEMEN UND IHRE AUTOMATISIERUNG. AUSWIRKUNGEN AUF DIE WIRTSCHAFT UND ENERGIEWIRTSCHAFT**
S. 466—472

Th. Ciselski und *Elvira Urcan*: **Ein modernes Schema für die Speisewasserregelung der minderwertigen Brennstoffe verbrennenden Blöcke**
S. 473—475

Hermina Albert und *Anca Mihăilescu*: **Die Knotensicherheitsparameter, die die Verbraucher aus dem System der Industrieverbraucher charakterisieren**
S. 476—481

E. Ceangă, I. Bivol., R. Duduica und *C. Tutunaru*: **Untersuchungen der Optimierung der Regelungssysteme von thermoenergetischen Aggregaten mit bituminösem Schiefer, mit Bezug auf technischen und wirtschaftlichen Kriterien**
S. 481—485

Gh. Bărbulescu: **Einige Aspekte der Erhöhung der Wirkungsgrades und der Betriebssicherheit von Synchronmotoren in der Hüttenwesenindustrie**
S. 485—490

SOMMAIRE

LA IX-e CONFERENCE INTERNATIONALE SUR L'ENERGETIQUE INDUSTRIELLE

Section 1. *Rapport général*: **ACCROISSEMENT DES RENDEMENTS ENERGETIQUES DES PROCESSUS INDUSTRIELS**
p. 380—385

N. Armencoiu, D. Rențea et *L. Ghioca*: **Quelques solutions visant la mise en valeur des ressources énergétiques secondaires en Roumanie**
p. 386—390

E. Fercală: **Voies de réduction et de gestion économique de la consommation d'énergie et combustible dans l'industrie chimique**
p. 391—396

Al. Florescu, Natalia Burchiu, T. Dragomir et *M. Ghițulescu*: **Effets énergétiques réalisables par l'utilisation de la pompe à chaleur de 0,7 Gcal/h dans les schémas pour la récupération des ressources énergétiques secondaires**
p. 397—401

T. Berinde, I. Lazăr et *R. Resiga*: **Economie de combustible dans la technique des pompes à chaleur**
p. 401—404

Section 2. *Rapport général*: **UTILISATION COMBINEE ET INTEGREE DES RESSOURCES ENERGETIQUES PRIMAIRES ET SECONDAIRES**
p. 405—407

V.I. Nitu, M. Stein, St. Diaconu et *G. Popescu*: **Influence des critères de fiabilité sur le choix des schémas d'îlotage de centrales chaleur-force sur une consommation industrielle**
p. 408—415

N. Dănilă et *V. Mușatescu*: **Sur la détermination de la consommation spécifique d'énergie et l'optimisation de la production complexe, en tenant compte de l'énergie englobée**
p. 415—418

P. Enăchescu: **Aspects énergétiques-technologiques dans les installations de pyrolise**
p. 418—420

Section 3. *Rapport général*: **ACCROISSEMENT DE L'INFLUENCE DE L'ENERGETIQUE DANS L'ECONOMIE INDUSTRIELLE**
p. 421—425

R. Burbea, Viorica Răducanu et au.: **Les consommations de phase et cumulées de ressources énergétiques pour certains produits industriels**
p. 426—430

V. Panțuru: **Organisation du flux technologique dans le but de réduire la consommation d'énergie électrique dans l'industrie du sucre**
p. 430—434

H. N. McCarl, A. Puiu et au.: **La fonction consommation spécifique d'énergie dans le cas des processus (des installations) de consommation finale**
p. 434—439

C. Mihăileanu, A. Stoica et *Angela Perea*: **Corrélation du niveau de sécurité dans l'alimentation en énergie électrique ou thermique avec la consommation propre technologique chez les consommateurs industriels**
p. 439—444

Gh. Bălan, V. Rugină et *D. M. Potlog* : **Influence de la tension d'alimentation sur les indicateurs énergétiques d'un four à arc électrique**
p. 444 – 447

Section 4. *Rapport général* : **PERFECTIONNEMENT DE LA COMMANDE DES SYSTEMES ENERGETIQUES INDUSTRIELS**
p. 448 – 451

B. Marcu, Em. Costin et *Sanda Herșcovici* : **Critères économiques relatifs au réglage des courbes de charge à l'aide des consommateurs réglables**
p. 452 – 455

H. Crișciu, A. Pană, Liana Bilegan et *Simina Lazăr* : **Méthodes d'optimisation des solutions d'alimentation en énergie électrique des consommateurs industriels**
p. 456 – 459

O. Țuțuianu : **Sur la consolidation des problèmes de décision dans l'organisation de la commande des systèmes énergo-technologiques**
p. 459 – 46

A. Măcriș et *D. Filitti* : **Aspects concernant l'utilisation rationelle des ressources énergétiques aux chantiers de montage des centrales électriques**
p, 461 – 465

Section 5. *Rapport général* : **PERFECTIONNEMENT DE SYSTEMES ENERGETIQUES INDUSTRIELS ET LEUR AUTOMATISATION. EFFETS ENERGETIQUES ET ECONOMIQUES**
p. 466 – 472

Th. Ciselski et *Elvira Urcan* : **Un schéma moderne pour le réglage de l'eau d'alimentation des tranches fonctionnant sur combustible inférieur**
p. 473 – 475

Hermina Albert et *Anca Mihăilescu* : **Paramètres nodaux de fiabilité caractérisant l'alimentation du système des consommateurs industriels**
p. 476 – 481

E. Ceangă, I. Bivol, R. Duduica et *C. Tutunaru* : **Recherches sur l'optimisation par rapport aux critères techniques et économiques des systèmes d'automation des tranches thermiques fonctionnant sur des schistes bitumineux**
p. 481 – 485

Gh. Bărbulescu : **Certains aspects de l'augmentation de l'efficience et de la fiabilité des moteurs synchrones dans la sidérurgie**
p. 485 – 490

CONTENTS

THE 9-TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENERGETICS

Section 1. *General Report* : **INCREASED ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL PROCESSES**
p. 380 – 385

N. Armencoiu, D. Rentea and *L. Ghioca* : **Some solutions concerning the turning into account of the secondary energy sources in Romania**
p. 386 – 390

E. Fercală : **Ways of reducing and rationalizing energy and fuel consumption in the chemical industry**
p. 391 – 396

Al. Florescu, Natalia Burchiu, T. Dragomir and *M. Ghițulescu* : **Energetic effects achieved by using a 0,7 Geal/h heating pump within recovery diagram of the secondary power sources**
p. 397 – 401

T. Berinde, I. Lazăr and *R. Resiga* : **The saving of fuel in the techniques of heat pumps**
p. 401 – 404

Section 2. *General Report* : **COMBINED AND INTEGRATED USE OF PRIMARY AND SECONDARY ENERGY RESOURCES**
p. 405 – 407

V. I. Nitu, M. Stein, St. Diaconu and *G. Popescu* : **Consideration of the reliability criteria in the choice of the insularization solutions for combined heat and power plants supplying an industrial area**
p. 408 – 415

N. Dănilă and *V. Mușatescu* : **About the determination of the specific energy consumption and the optimization of the complex production taking into account the included energy**
p. 415 – 418

P. Enăchescu : **Energy and cumulative points of wiew in a pyrolise plant**
p. 418 – 420

Section 3. *General Report* : **GROWTH OF THE INFLUENCE OF ENERGETICS ON THE INDUSTRIAL ECONOMY**
p. 421 – 425

R. Burbea, Viorica Răducanu a.o. : **Phases and cumulative energy consumption of resources for some industrial products**
p. 426 – 430

V. Panțuru : **Organizing of the technological flux in order to reduce the electricity consumption in the sugar industry**
p. 430 – 434

H. N. McCarl, A. Puiu a.o. : **The function specific consumption of energy in the case of processes (installations) of final consumption**
p. 434 – 439

C. Mihăileanu, A. Stoica and *Angela Perea* : **Correlation of the safety level of electric and thermal energy saving with the consumption for technology at industrial consumers**
p. 439 – 444

Gh. Bălan, V. Rugină and *D. M. Potlog* : **The influence of the supply voltage on the power parameters of an electric arc furnaces**
p. 444 – 447

Section 4. *General Report* : **IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL SYSTEM MANAGEMENT**
p. 448 – 451

B. Marcu, Em. Costin and *Sanda Herșcovici* : **Economic criteria for the control of load curves by means of controllable consumers**
p. 452 – 455

H. Crișciu, A. Pană, Liana Bilegan and *Simina Lazăr* : **Optimization methods of electrical energy supply solutions for industrial consumers**
p. 456 – 459

O. Țuțuianu : **Bases of decisional problems in energo-technological systems management organizing**
p. 459 – 461

A. Măcriș and *D. Filitti* : **Aspects concerning the rational use of the power resources on the erecting sites of the power plants**
p. 461 – 465

Section 5. *General Report* : **IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL POWER SYSTEMS AND THEIR AUTOMATION. ENERGETIC AND ECONOMIC EFFECTS**
p. 466 – 472

Th. Ciselski and *Elvira Urcan* : **A modern control diagram of feedwater within boilers on low-grade fuel**
p. 473 – 475

Hermina Albert and *Anca Mihăilescu* : **Network safety parameters nodes characterizing the consumers of different industries**
p. 476 – 481

E. Ceangă, I. Bivol, R. Duduica and *C. Tutunaru* : **Studies concerning the control systems optimization of thermal aggregates burning oil-shales, referring to technical and economic criteria**
p. 481 – 486

Gh. Bărbulescu : **Aspects of efficiency increase and reliability improvement of synchronous motors in the siderurgic industry**
p. 485 – 490

Cuvîntarea tovarășului Trandafir Cocârlă, ministrul energiei electrice, la cea de-a IX-a Conferință Internațională de Energetică Industrială

Stimate tovarășe, stimați tovarăși,
Dragi oaspeți de peste hotare,

Îmi revine cinstea ca, la deschiderea lucrărilor celei de-a IX-a Conferințe Internaționale de Energetică Industrială, în numele guvernului R.S.R., să vă adresez un călduros salut și bun venit în Municipiul București, capitala patriei noastre.

Actuala conferință, care reunește specialiști de frunte în energetica industrială din diferite țări, capătă o semnificație și o importanță cu totul deosebite.

În prezent, pe plan mondial, consumul de energie și combustibili clasici, de care dispunem, sînt limitate. Importante capacități de cercetare științifică și mijloace materiale sînt concentrate pentru soluționarea problemelor vitale ale asigurării combustibililor și energiei necesare dezvoltării economiilor naționale și satisfacerii necesităților de consum. Are loc o reexaminare critică a nivelelor consumurilor energetice; se impune tot mai mult concepția utilizării rationale, a economisirii și conservării energiei de toate formele.

Întregul nostru popor, strîns unit sub conducerea partidului, a secretarului său general, tovarășul Nicolae Ceaușescu, este puternic angajat pentru înfăptuirea hotărîrilor Congresului al XI-lea și Programului de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism, obținînd realizări de mare însemnătate în toate sectoarele de activitate economico-socială.

În cadrul politicii consecvente de dezvoltare armonioasă și proporțională a tuturor ramurilor economiei noastre naționale, industrializarea socialistă reprezintă factorul primordial al dezvoltării forțelor de producție, al progresului economic al țării.

Producția industrială a țării noastre a crescut în perioada 1950—1977 de peste 25 de ori, ajungînd ca în anul trecut ponderea acestei ramuri să reprezinte 60,7% din venitul național.

Dispunem în prezent de o industrie modernă, caracterizată printr-un înalt grad de dotare energetică, de mecanizare și de automatizare, multe procese fiind conduse cu ajutorul calculatoarelor electronice.

Concomitent cu dezvoltarea industriei și a celorlalte ramuri ale economiei naționale, partidul nostru a promovat o linie consecventă de dezvoltare a bazei energetice, astfel ca aceasta să asigure satisfacerea cerințelor raționale de combustibili și energie pentru toate sectoarele de activitate.

În dezvoltarea bazei energetice s-a avut în vedere utilizarea rațională și valorificarea eficientă a resurselor energetice de care dispune țara noastră.

Extracția de combustibili a crescut în perioada 1950—1977 de 7,5 ori la cărbune, de 2,8 ori la țiței și de 10,3 ori la gaze naturale.

Dezvoltarea producției de energie electrică s-a realizat în principal în centrale electrice de mare putere alimentate cu cărbuni inferiori, reducîndu-se ponderea hidrocarburilor, și prin valorificarea potențialului hidroenergetic al rîurilor interioare și al Dunării.

Este în curs de execuție o primă centrală electrică funcționînd pe șisturi bituminoase. Utilizînd aceste resurse, producția de energie electrică a crescut de 28,6 ori, ajungînd în 1977 la 60 miliarde kWh, cu o putere instalată în sistemul energetic al României de peste 13 600 MW.

În dezvoltarea sistemului energetic național s-a urmărit creșterea permanentă a economicității și siguranței în funcționarea instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice, pentru asigurarea continuității în alimentarea consumatorilor.

Încă înainte de declanșarea, în 1973, a crizei petrolului, conducerea de partid și de stat, personal tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretarul general al P.C.R., președintele R.S.R., a acordat o importanță deosebită economisirii energiei și combustibililor, indicînd că în condițiile țării noastre criteriul economiei de combustibil va trebui să guverneze însăși concepția generală a dezvoltării în perspectivă a economiei naționale.

Întrucît în industrie se consumă în utilizări energetice circa 63 % din totalul de energie primară și circa 60 % din energia electrică produsă, s-a acordat o atenție deosebită rezolvării corespunzătoare a problemelor energetice din industrie pentru realizarea de randamente ridicate și reducerea consumurilor specifice de combustibil și energie pe unitatea de produs.

Printre principalele soluții adoptate subliniem: gruparea noilor obiective pe platforme industriale complexe, asigurînd astfel o utilizare rațională și eficientă a surselor de energie, a utilităților comune, a terenului și a resurselor energetice secundare rezultate din procesele industriale; dezvoltarea producției combinate a energiei electrice și a căldurii, atît în mari centrale publice de termoficare, cît și în centrale electrice ale autoproducătorilor.

S-a generalizat practica întocmirii periodice a bilanțurilor energetice în baza cărora se procedează la optimizarea consumurilor energetice. Sistematic se execută lucrări pentru valorificarea resurselor energetice secundare rezultate din procesele industriale în întreprinderile respective sau în centralele electrice. Cu sprijinul activ al industriei constructoare de mașini s-a trecut la modernizarea instalațiilor de ardere, a cazanelor de abur și apă fierbinte și a cuptoarelor industriale. Se urmărește înlocuirea treptată a utilajelor, tehnologiilor și produselor cu consumuri energetice ridicate.

S-a elaborat și s-a trecut la aplicarea unui vast program prioritar de cercetare pentru gospodărirea și dezvoltarea resurselor energetice, care urmărește găsirea de noi soluții pentru reducerea consumurilor specifice de energie și combustibil. Sporește aportul cercetării științifice pentru rezolvarea problemelor de gospodărire rațională a energiei, întărindu-se colaborarea dintre cercetători, proiectanții de utilaje și tehnologii și energeticienii din industrie.

Prin aplicarea vastului program de măsuri, se preconizează realizarea de importante economii de energie și combustibili, în perioada 1976—1980 prevăzîndu-se reducerea consumurilor specifice medii pe total industrie cu 24 % la combustibili și cu 17 % la energia electrică. În timp ce în perioada 1960—1970 pentru un ritm mediu anual de creștere a producției industriale de 12,3 % producția de energie electrică a crescut în medie cu 16,4 % pe an, în actualul cincinal, ca urmare a măsurilor de utilizare rațională a energiei electrice, la un ritm mediu de creștere a industriei de circa 11 %, consumul de energie electrică va crește în medie cu numai 7,8% pe an.

În cadrul preocupărilor permanente ale conducerii partidului și statului nostru pentru reglementarea problemelor energetice, în 1973 a fost adoptată o lege cu privire la măsurile de dezvoltare a bazei energetice și folosirea mai judicioasă a combustibililor și energiei. Pornind de la considerentul că găsirea unor soluții pentru asigurarea gospodăririi raționale a combustibililor și energiei nu se poate face decît printr-o strînsă colaborare între tehnologi și energeticieni, cu sprijinul activ al conducerii întreprinderilor, s-a prevăzut înființarea de comisii energetice în întreprinderi, centrale industriale și ministere.

Recent a fost creat Consiliul Național pentru coordonarea dezvoltării bazei energetice și a funcționării sistemului energetic, care reunește atît reprezentanți ai producătorilor de combustibili și energie, cît și ai tuturor ramurilor consumatoare.

Stimați tovarăși,

Întrucît problemele de energetică la care m-am referit sînt foarte actuale și din multe puncte de vedere sînt comune, regăsindu-se practic în preocupările tuturor energeticienilor de a găsi căile pentru a depăși fenomenele pe care le generează în economia mondială criza de energie, este necesar să se intensifice colaborarea internațională în acest domeniu. Între țările socialiste, în conformitate cu planurile de colaborare convenite în

cadrul CAER sau pe bază de înțelegeri bilaterale, se conlucrează deja pentru rezolvarea unor probleme energetice concrete. De asemenea, se elaborează studii și cercetări comune în domeniul energetic.

În cadrul politicii de colaborare a țării noastre cu celelalte țări, se acordă atenție și colaborării în domeniul energetic. Există convenții pentru colaborări tehnico-științifice în domeniul energetic și pentru livrări sau achiziționări de utilaje energetice și de combustibil atît cu țările socialiste, cît și cu alte țări. Sistemul energetic din țara noastră este interconectat cu sistemele energetice ale celorlalte țări socialiste europene și participăm la elaborarea studiilor privind interconectarea sistemelor energetice din zona balcanică și între țările est și vest-europene.

În acest cadru, actuala conferință, care continuă tradiția bună a conferințelor anterioare, reprezintă pentru specialiștii în energetica industrială un minunat prilej de a găsi noi soluții și căi pentru rezolvarea multiplelor probleme de energetică cu care sîntem confruntați în prezent.

Îmi exprim convingerea că participanții la cea de-a IX-a Conferință Internațională de Energetică Industrială, într-un larg spirit de colaborare, vor face un amplu schimb de vederi și de experiență, că se vor cunoaște mai bine, reușind prin aceasta să contribuie la soluționarea problemelor arzătoare ale energeticii industriale.

Sper că această prestigioasă manifestare va contribui în același timp la promovarea progresului tehnic și la dezvoltarea cooperării internaționale.

În încheiere, urez deplin succes desfășurării lucrărilor conferinței dumneavoastră.

Secția 1

Raport general

Creșterea randamentelor energetice ale proceselor industriale

Raportor general : prof. dr. doc. ing. **Vasile I. Nitu** *)

Societatea contemporană este puternic afectată de restricțiile actuale din domeniul energiei. Deși sînt generate de factori esențial deosebiți — conjunctură, preț, mărimea resurselor — aceste restricții impun un comportament unic : consumul mai redus de energie.

Industria reprezintă cel mai mare consumator de energie. Între diferitele industrii apar diferențieri importante, caracterizate prin mărimea consumului, consumul specific pe unitatea de produs exprimat fizic sau valoric, formele de energie primară folosite etc., și, totodată, procesele tehnologice, pentru un același produs industrial final, prezintă o diversitate a consumului de energie datorită tehnologiei folosite și condițiilor de exploatare.

Preocupări de a obține efecte maxime în industrie cu un consum mai redus de energie datează de mai multă vreme ; chiar conferințele internaționale de energetică industrială, care au ajuns astăzi la cea de-a IX-a întîlnire, au o vechime de 20 de ani.

În momentul de față, ascuțirea problemei este caracterizată deseori prin noțiunea de „criză energetică", și o altă noțiune, nou apărută, „conservarea energiei", marchează procesul de economisire a energiei și de îmbunătățire a randamentului, proces care, trebuie să recunoaștem, se manifestă pe plan mondial încă destul de lent. Căutările pentru o diversitate de soluționări — fapt ce se poate remarca și din rapoartele foarte interesante prezentate în cadrul acestei secții — cunosc însă o amploare deosebită. Încercînd, în acest raport general, să facem o prezentare unitară a rapoartelor propuse și să evidențiem principalele tendințe în ameliorarea randamentului energetic, este necesar mai întîi să folosim un limbaj unic privind randamentul și pierderile din procesele industriale. Analiza rapoartelor va arăta vaste căi și tendințe, evidențiind totodată problemele supuse discuției în această secție.

1. Randamentul energetic al proceselor industriale

În exprimarea cea mai generală, randamentul energetic se definește ca raportul dintre serviciul obținut datorită folosirii energiei și consumurile energiei. Serviciul obținut poate reprezenta producția industrială în unități fizice, în unități valorice sau în orice fel de altă mărime cantitativă caracteristică.

Dacă serviciul obținut este exprimat prin energia utilă a formelor de energie rezultate, randamentul se definește fizic prin raportul dintre energia utilă și cea consumată. Prin randamentul fizic menționat nu se măsoară randamentul diferitelor procese de transformare a energiei, ci eficiența energetică a tehnologiei procesului industrial în ansamblu.

În mod frecvent, în practică, evidențierea eficienței energetice a unui proces industrial consumator de energie se face prin inversul randamentului, respectiv consumul specific de energie (raportat la serviciul util exprimat în unități fizice sau valorice).

2. Reducerea pierderilor — principala cale de creștere a randamentului energetic

Conservarea energiei cuprinde o problematică largă și complexă. Acțiunile legate de economia de energie sînt astăzi foarte bine cunoscute : evitarea risipei de energie, restructurarea cererii finale de energie în sensul realizării de produse cu un consum mai redus, îmbunătățirea proceselor tehnologice, modificarea comportamentului consumatorilor în sensul unei utilizări mai raționale a energiei.

Modul de aplicare a acestor acțiuni, precum și evidențierea unor alte noi căi constituie chiar obiectul întîlnirii de față și vor fi dezbătute în toate secțiile conferinței.

Limitîndu-ne strict la tematica acestei secții, credem că este util a pune în evidență principalele pierderi de energie din procesele industriale ; o cît mai aprofundată cunoaștere a acestora permite o evaluare corectă a randamentului și a căilor sale de ameliorare. Tabelul 1 sintetizează stadiul actual și tendințele de viitor.

---

* Prof. dr. doc. ing. Vasile I. Nitu este director tehnic al ISPE.

Tabelul 1

Principalele pierderi de energie în procesele industriale. Căile actuale şi de perspectivă pentru reducerea acestora

Principalele pierderi în procesele industriale	Industrii caracteristice	Tehnici actuale pentru reducerea pierderilor	Acţiuni întrevăzute pentru perspectivă
1. Căldura resurselor energetice combustibile			Perfecţionarea tehnologiei de ardere a resurselor energetice combustibile
1.1. Gaze			
— Gaz de furnal, cocs, semicocs etc.	Siderurgie	Ardere în cazane de abur şi apă fierbinte	
— Gaze rezultate din procese chimice	Chimie	Idem, şi refolosire în procese tehnologice	
1.2. Lichide			
— Fracţiuni uşoare rezultate din procese chimice	Chimie	Folosire în procese tehnologice şi recuperare în cazane	
— Leşii	Chimie	Ardere în cazane	
1.3. Solide			
— Şlam	Industria minieră	Ardere în cazane	
— Celolignină, deşeuri de cauciuc etc.	Chimie	Ardere în cazane	
— Deşeuri de lemn	Industria lemnului	Prelucrare industrială şi/ sau ardere în cazane şi sobe	
2. Căldura sensibilă a gazelor de ardere			Extinderea limitei inferioare a temperaturii gazelor de ardere evacuate
— Furnale, cu temperatura gazelor de ardere $t = 200-400°C$	Siderurgie	Folosire de cazane recuperatoare	
— Cuptoare de cocs $t = 250-300$ °C *)	Siderurgie	Idem	
— Cuptoare de forjă $t = 900-1100°C$	Metalurgie şi construcţii de maşini	Idem	
$t = 400-600°C$			
— Cuptoare de tratamente termice $t = 600-700°C$	Idem	Idem	
— Cuptoare Siemens-Martin $t = 400-600°C$ *)	Metalurgie	Idem	
— Cuptoare de clincher, $t = 400-600°C$ *)	Industria cimentului	Idem	
— Cuptoare pentru sticlă $t = 900-1300°C$	Industria sticlei	Idem	
$t = 600-800°C$ *)			
— Diverse cuptoare cu temperaturi ale gazelor de ardere la ieşire de peste 500°C	Diferite industrii	Idem, şi preîncălzirea materiilor prime	
— Evacuarea gazelor de ardere de la turbinele cu gaze, $t = 400-450°C$	Antrenări în diferite industrii : siderurgie, chimie, energie etc.	Folosirea de cazane recuperatoare	
— Evacuarea gazelor de ardere la potenţial scăzut $t = 150-200°C$	Procese de ardere în cazane şi altele		
3. Căldura sensibilă a unor fluide calde	Chimie	Folosire de cazane recuperatoare	Generalizarea recuperării de căldură
4. Căldura fizică a produselor şi deşeurilor calde :			Folosirea de soluţii de recuperare
— Cocs metalurgic şi zguri	Siderurgie		
— Lingouri metalice	Siderurgie		
— Aluminiu	Industria aluminiului		
— Piese metalice	Industria construcţiilor de maşini		
5. Căldura condensatului şi a aburului uzat	Diferite industrii	Recuperarea căldurii	Generalizarea recuperării căldurii condensatului şi a aburului uzat
6. Căldura de pontenţial scăzut a apei de răcire	Diferite industrii	Producere combinată de energie electrică şi căldură. Pompe de căldură	Găsirea unor consumatori de căldură cu potenţial scăzut. Termoficarea şi pompa de căldură
7. Energia de suprapresiune			Generalizarea introducerii turbinelor de trecere
— Presiunea gazelor	Chimie	Folosire de turbine de trecere	
— Presiunea aburului	Diferite industrii	Idem	
8. Căldura pierdută prin radiaţii, convecţie şi neetanşeităţi	Diferite industrii	—	Îmbunătăţirea izolaţiei şi reducerea pierderilor

*) temperatura gazelor de ardere după preîncălzirea regenerativă.

Reducerea pierderilor evidenţiate, adică a energiei disipate, şi transformarea acestor pierderi în energie utilă conduc la creşterea randamentului energetic al procesului industrial, respectiv la scăderea consumurilor specifice de energie primară.

Efectul reducerii pierderilor de energie este foarte important, în special în cazul produselor cu consumuri specifice de energie ridicate. Preocupările vizînd creşterea eficienţei energetice a proceselor industriale trebuie deci orientate în primul rînd spre aceste procese. În tabelul 2 se evidenţiază unele dintre principalele produse cu consumuri specifice ridicate, precum şi valorile medii ale consumurilor specifice realizate pe plan mondial.

Tabelul 2

Produse industriale care necesită consumuri ridicate de energie

Produsul	Consum specific de energie, kWh termici/t
Oţel brut	10 500
Ciment	2 200
Aluminiu	91 000
Cupru	20 000
Zinc	20 000
Plumb	15 000
Materiale plastice	45 000
Cauciuc sintetic	41 000
Sticlă	6 250
Hîrtie	7 500

3. Recuperarea resurselor energetice secundare

În general, pierderile de energie în procesele industriale apar în forme şi la parametri care permit aplicarea unor procedee de reutilizare, fie în propriul proces sau în alte procese.

În această situaţie ele devin resurse energetice secundare şi, funcţie de caracteristicile lor, pot fi clasificate în următoarele categorii : combustibile, termice, de suprapresiune şi mecanice.

Recuperarea acestor resurse energetice are un rol important în ameliorarea balanţei de energie primară şi în realizarea de economii de combustibil, cum sînt gazele naturale şi ţiţeiul.

Preocupările vizînd concepţia şi realizarea sistemelor de recuperare a resurselor energetice secundare sînt proprii tuturor ramurilor industriale, fapt reflectat şi în tematica rapoartelor prezentate în această secţie.

Totodată recuperarea resurselor energetice secundare trebuie să formeze o preocupare pe ansamblul economiei, avînd în vedere că în acest mod se pot găsi soluţii calitativ superioare de valorificare a lor.

Funcţie de natura surselor şi a proceselor consumatoare de energie se pot avea în vedere nu numai recuperarea resursei în interiorul procesului generator, ci şi soluţii mai eficiente la utilizarea resurselor în sisteme de producere a energiei electrice, în sisteme de alimentare cu căldură la distanţă în industrie, agricultură, încălziri urbane etc. (rapoartele 1.1 — U.R.S.S. şi 1.4 — R.S.R.).

Evident, în valorificarea resurselor energetice secundare, criteriul de eficienţă energetică (economia de combustibil) nu este hotărîtor în mod absolut, ci el trebuie înglobat într-un criteriu economic care să evalueze toate implicaţiile economice ale realizării şi exploatării instalaţiei (rapoartele 1.14 — R.P.B. şi 1.32 — U.R.S.S.).

Încă un aspect care suplimentează avantajele recuperării resurselor energetice secundare este diminuarea deversării în mediul ambiant a factorilor poluanţi (agenţi chimici, pulberi în suspensie, căldură).

Industriile mari consumatoare de energie oferă totodată şi cele mai mari posibilităţi de utilizare pe scară largă a recuperării resurselor energetice secundare. O serie din referatele prezentate arată posibilităţile şi realizările în acest domeniu.

Unele din direcţiile principale de scădere a consumului de combustibil şi recuperare a resurselor energetice secundare în industria chimică, după cum rezultă din referatele prezentate (1.16 — R.P.P. şi 1.30 — R.S.R.) sînt :

— creşterea ponderii energiei termice produse în termoficare ;
— utilizarea unor cazane cu randamente cît mai mari ;
— reducerea pierderilor la transportul diferitelor forme de energie ;

— controlul arderii în focare în vederea realizării parametrilor optimi ;
— recuperarea gazelor de faclă, a reziduurilor combustibile și a căldurii gazelor fierbinți pentru utilizarea în proces sau livrare de căldură unor consumatori externi ;
— recuperarea căldurii produselor finite calde (în special lichide) ;
— recuperarea căldurii condensatului ;
— producerea frigului pe baza resurselor energetice secundare.

Sectorul industriei prelucrătoare a țițeiului oferă de asemenea vaste posibilități de recuperări de resurse energetice secundare, între care se poate cita producerea de energie electrică în cicluri de joasă temperatură (sub 150°C) care folosesc ca agent de lucru substanțe volatile — freoni (raportul 1.25 — U.R.S.S.).

În industria siderurgică în prezent sînt realizări importante în privința utilizării resurselor energetice secundare, în special gazele combustibile de furnal și cocserie utilizate în mari centrale de producere combinată a energiei electrice și a căldurii, atît pentru nevoile interne cît și pentru consumatori externi (raportul 1.4 — R.S.R.).

Această industrie oferă în continuare posibilități de dezvoltare a recuperărilor, în special căldura fizică a gazelor evacuate de la oțelării, căldura fizică a produselor calde (lingouri, laminate și cocs), căldura evacuată prin răcirea agregatelor, energia de suprapresiune a gazelor de furnal. Se apreciază că extinderea recuperărilor energetice secundare în combinatele siderurgice va duce în următorii ani la reducerea consumului de energie pe 1 tonă produs laminat cu 7—9% (raportul 1.24 — R.S.R.).

În unele cazuri, pentru utilizarea în procesul siderurgic este necesară o prelucrare (înnobilare) a purtătorului de energie secundară, cerută de condițiile procesului tehnologic. Stabilirea oportunității și a nivelului optim de prelucrare se pretează la o modelare matematică (raportul 1.33 — R.S.R.).

4. Recuperarea resurselor energetice secundare de potențial scăzut

O mare parte din fluxurile energetice evacuate ca deșeu în mediul ambiant se prezintă sub forma de căldură de potențial scăzut (sub 100°C), potențial la care este dificilă utilizarea acestor energii.

În urma evoluției problemelor energetice pe plan mondial, în ultimul timp s-a accentuat concepția că și aceste energii intră în sfera resurselor energetice secundare recuperabile.

Utilizarea directă a acestor resurse implică fie găsirea sau atragerea în zonă a unor consumatori adecvați ca nivel termic (încălzirea clădirilor, agricultură, împiedicarea înghețului unor căi navigabile, sau chiar procese tehnologice), fie realizarea unor instalații generatoare de energie electrică pe bază de cicluri cu agenți volatili (rapoartele 1.22 — R.S.R., 1.25 — U.R.S.S., 1.29 — R.S.R.).

Dificultățile adaptării la nivel scăzut de temperatură a unor consumatori termici suficient de mari, în raport cu disponibilitatea surselor, cît și eficiența globală încă relativ scăzută, în unele cazuri, a instalațiilor generatoare de energie electrică pe bază de agenți volatili determină o utilizare încă parțială a potențialului existent în asemenea resurse.

Întrucît ridicarea potențialului termic al căldurii disponibile din aceste surse extinde aria de utilizare, folosirea instalațiilor de pompe de căldură în acest scop capătă un domeniu larg de aplicare, fapt relevat de o serie de rapoarte prezentate.

Esențial pentru eficiența economică a unui asemenea sistem de recuperare este modul de concepție cît mai rațional din punct de vedere termodinamic, care să conducă la încadrarea pompei de căldură în scheme, astfel încît bilanțul energetic să fie optim.

Pentru fiecare caz concret de aplicare se poate determina o schemă termică optimă care realizează folosirea la maximum a transferului direct de căldură și plasează optim pompa de căldură în scopul diminuării consumurilor suplimentare de energie (raportul 1.27 — R.D.G.).

Eficiența energetică, și implicit cea economică, este evident influențată și de o serie de alți parametri caracteristici situației concrete de aplicare, ca, de exemplu, temperatura resursei, temperatura necesară la consumator, proprietățile termodinamice ale agentului de lucru, puterea unitară a agregatului (raportul 1.5 — R.S.R.).

Se constată că în domeniul valorificării resurselor industriale de căldură la nivel scăzut au o aplicabilitate largă pompele termice de capacități mijlocii și mari, tip apă-apă, cuplate la sisteme centralizate de alimentare cu căldură. Condițiile ce se pot asigura în aceste situații (fluxuri de căldură importante, temperaturi relativ ridicate ale surselor față de mediul ambiant, 40—50°C, consum relativ uniform) conferă energeticii industriale cele mai largi posibilități de utilizare eficientă a acestor instalații (rapoartele 1.26 — U.R.S.S. și 1.23 — R.S.R.).

5. Restructurarea proceselor industriale în scopul reducerii consumului de energie

Tendința de creștere a componentei aferente energiei în costul produselor și măsurile pe ansamblul economiei vizînd o mai bună gospodărire a energiei determină necesitatea analizării, la nivel de ramură economică, întreprindere sau linie tehnologică, a bilanțurilor de transformare și utilizare a energiei. Aceste analize evidențiază punctele nevralgice ale sistemelor energotehnologice, ierarhizarea importanței lor și eventual căile posibile de optimizare prin intervenții asupra procesului tehnologic, surselor energetice și receptoarelor (rapoartele 1.9 — R.P.U. și 1.7 — R.S.R.).

În multe procese industriale, tehnologiile utilizate au fost stabilite pe baza unor criterii practice și cîteodată semiempirice din punctul de vedere al utilizării optime a componentei energie în procesul respectiv (prelucrări mecanice, utilizarea arcului electric în procese de tip sudură etc.).

O analiză teoretică cu caracter de cercetare fundamentală a fenomenelor fizice și chimice implicate în proces poate conduce la elaborarea de procese tehnologice noi sau perfecționarea celor existente prin aplicarea în practică a unor proprietăți și fenomene recent descoperite cu efecte pozitive din punctul de vedere al consumului de energie (rapoartele 1.31 — R.S.R. și 1.17 — R.P.P.).

De multe ori modificarea unor tehnologii sau instalații în vederea unei mai bune utilizări a energiei conduce și la efecte pozitive asupra procesului tehnologic, respectiv a calității produselor.

Un mare număr de referate prezintă soluții de îmbunătățire a tehnologiilor din punctul de vedere al consumului de energie pentru diferite ramuri industriale, și anume :

— în industria siderurgică, perfecționarea sistemului de încălzire a cuptoarele de forjă (1.28 — R.S.R.), a modului de transport și omogenizarea metalelor lichide (1.17 — R.P.P.);

— în metalurgia neferoasă, alegerea unor parametri optimi la cuptoarele de Cu și Pb (1.12 — R.P.B.);

— în industria azotului, influența materiei prime și a diferitelor tehnologii asupra consumului de energie (1.10 — R.P.U.);

— în industria petrochimică, optimizarea eșalonării termice a proceselor de distilare a țițeiului (1.20 — R.S.R.);

— în industria cimentului, modificarea proceselor de concasare și măcinare (1.11 și 1.15 — R.P.B.);

— în instalațiile pentru generarea energiei electrice și termice, o serie de soluții vizînd fie îmbunătățirea arderii în cazanele de abur (1.3 — R.S.R.), fie modificarea parametrilor inițiali ai aburului la turbinele de termoficare industrială (1.2 — R.S.R.);

— în industria textilă, perfecționarea tehnologiei de spălare și vopsire a fibrelor (1.8 — R.P.U.).

O altă cale de reducere a consumului de combustibil în procesele industriale este însăși perfecționarea sistemului de alimentare cu căldură, în cazul unor consumatori cu variații importante ale cererii. O soluție care se impune în acest caz este utilizarea acumulatoarelor de căldură dimensionate optim din punct de vedere economic.

Utilizarea lor conduce la scăderea capacității necesar a fi instalate în cazane, la creșterea randamentului mediu anual de funcționare a acestora și la eliminarea variațiilor parametrilor în livrarea căldurii (rapoartele 1.19 — R.P.P. și 1.21 — R.S.C.).

Un rol deosebit în perfecționarea schemelor de alimentare cu căldură revine alegerii tipului și caracteristicilor optime ale schimbătoarelor de căldură, care de fapt reprezintă o componentă cu pondere ridicată în aceste scheme. Dimensionarea optimă și soluția constructivă cea mai adecvată pot modifica randamentul schimbătorului, căderile de temperatură în schimbător, pierderile hidraulice, toate cu efecte directe asupra consumului de energie primară (raportul 1.13 — R.P.B.).

Se citează, în domeniul instalațiilor energetice ale navelor, cuplarea instalațiilor de propulsie (Diesel) cu generatoare de energie electrică pentru servicii proprii, în cadrul unor scheme în care căldura gazelor arse de la motorul Diesel este valorificată pentru producerea energiei electrice într-un ciclu cu vapori de apă cu cazan recuperator (raportul 1.6 — R.P.B.).

Deși insuficient prezentat prin numărul de rapoarte, domeniul perfecționării instalațiilor receptoare de energie electrică constituie o rezervă importantă de economisire a energiei. De exemplu, alegerea adecvată a nivelului de excitație a motoarelor sincrone de antrenare din industrie permite generarea locală a energiei reactive necesare, conducînd la micșorarea pierderilor de transport (raportul 1.18 — R.P.U.).

Concluzii

Din prezentarea succintă făcută în acest raport general asupra problemelor specifice şi a referatelor care formează obiectul secţiei rezultă că în domeniul creşterii randamentelor energetice ale proceselor industriale există vaste posibilităţi de acţiune cu perspective sigure de obţinere a unor rezultate care să conducă la o mai bună conservare a energiei.

Discutarea în continuare în cadrul cercului de specialişti prezenţi a acestor probleme este de o mare utilitate. Din multitudinea de aspecte foarte interesante conţinute de tematica secţiei considerăm ca fiind în mod deosebit importante şi le supunem discuţiei pe următoarele :

1. Care sînt considerate cele mai avansate procese tehnologice din punctul de vedere al randamentului energetic, pentru un acelaşi produs, în diferite ramuri ale industriei ?
2. Principalele tendinţe de ameliorare a randamentului energetic în diferite ramuri industriale.
3. Se întrevede perfecţionarea anumitor procese tehnologice astfel încît resursele să fie integral folosite ?
4. Tehnologii noi folosite pentru recuperarea căldurii sensibile a gazelor de ardere.
5. Pînă la ce limită inferioară a temperaturii este economic să se recupereze căldura gazelor de ardere ?
6. Căi de recuperare a căldurii gazelor de la faclele din industria petrochimică.
7. Care este experienţa de care se dispune în arderea gazelor de furnal şi cocs cu adaos minim de gaze naturale ?
8. Limita inferioară de utilizare a căldurii de potenţial scăzut ; utilizări directe şi/sau pompe de căldură.
9. Perspectivele integrării industriei siderurgice cu energetica nucleară.
10. Folosirea căldurii fizice a produselor (lingouri de oţel, aluminiu etc.) prezintă perspective reale de folosire pe scară largă ?
11. Perspectivele restructurării unor tehnologii existente în vederea unui consum mai redus de energie.

Unele soluții privind valorificarea resurselor energetice secundare din România

Dr. ing. **N. Armeneoiu**
ing. **D. Rențea**
ing. **L. Ghioca** *)

Un rol important în ameliorarea balanței de energie primară și în realizarea de economie de combustibil revine utilizării resurselor energetice secundare din industrie. Recuperarea acestora a devenit în prezent o lege determinată de creșterile inevitabile ale consumului de energie și de declinul unor surse de combustibil, cum sînt gazele naturale și țițeiul.

Resursele energetice secundare sînt cantități de energie de toate formele care apar ca produse auxiliare în procese care nu au drept scop principal producerea lor, dar care pot fi folosite energetic în afara agregatelor sau produselor respective.

În România valorificarea resurselor energetice secundare s-a făcut pe baza unui ansamblu de măsuri : studii de eficiență, construcția și montarea de instalații recuperatoare, stabilirea formelor de utilizare cît mai integrală a acestora și proiectarea, construirea și montarea de instalații recuperatoare pentru o diversitate mare de tipuri și mărimi de resurse.

În cele ce urmează se prezintă stadiul actual al recuperării resurselor energetice secundare în România, unele soluții aplicate și unele preocupări de viitor în acest domeniu.

1. Resurse energetice secundare în România

Resursele energetice secundare generate de procesele tehnologice din industrie se clasifică în următoarele categorii, funcție de caracteristicile lor : combustibile, termice, de suprapresiune și mecanice.

Resursele energetice secundare combustibile sînt :

— produse rezultate din procese de natură chimică (gaz de furnal, gaz de cocs, gaz de rafinărie etc.) ;

— deșeuri de materii prime sau materiale (deșeuri lemnoase, leșii, deșeuri agricole etc.) care pot arde și produce căldură în continuare.

În categoria resurselor energetice secundare termice sînt incluse :

— căldura sensibilă a gazelor de ardere de la convertizoare, laminoare sau procese chimice de conversie ;

— căldura fizică (suma dintre căldura sensibilă și cea internă) a aburului uzat, a produselor calde, a zgurilor și altor deșeuri ;

— căldura conținută în condensat ;

— căldura preluată de agenți de răcire (aer, apă, abur, etc.) a diferitelor agregate.

Resursele energetice secundare de suprapresiune sînt :

— presiunea gazelor de zăcămînt sau transport a gazelor naturale ;

— presiunea lichidelor sau gazelor rezultate din unele procese chimice.

Resursele energetice secundare mecanice cuprind :

— energia de frînare din transporturile feroviare ;

— energia obținută la bancurile de probă a mașinilor etc.

Studiile întocmite la noi în țară arată că recuperarea resurselor energetice secundare este eficientă din punct de vedere economic dacă debitele sau cantitățile recuperate sînt mai mari sau egale cu următoarele valori :

— resurse combustibile : 50 t c.c./an ;

— resurse termice : 100 t c.c./an ;

— resurse de suprapresiune : $Q.H. > 5\,000$ (Q — debit fluid, în kg/s, H — suprapresiunea, în mc.a.) ;

— resurse de energie mecanică : 50 kW — bancuri de probă și 500 kW transport feroviar.

În condițiile în care există resurse energetice secundare, recuperarea acestora este legată de apariția unuia sau mai multor consumatori de energie. În cazul unor platforme industriale, utilizarea resurselor secundare este în general asigurată prin consumurile de căldură și energie electrică ; în cazul unor întreprinderi izolate, utilizarea resurselor energetice secundare poate uneori să depășească consumurile proprii, în care caz soluțiile au în vedere producerea de energie electrică, care este debitată în sistem.

2. Stadiul actual al recuperării resurselor energetice secundare

Resursele energetice secundare recuperate sub formă de căldură și energie electrică în anii 1975 și 1976, în cadrul principalelor ramuri

*) Dr. ing. Nicolae Armencoiu este directorul ISPE ; Dumitru Rențea și L. Ghioca sînt ingineri la ISPE.

industriale, pe categorii de resurse, au fost următoarele :

— mii t c.c. —

Categoria resurse energetice secundare	Total resurse evaluate la nivelul anului 1976	Recuperate în anul	
		1975	1976
1. Combustibile din care :	4233	3294,4	3856,0
— gaz furnal, cocs, semicocs	2472	2105,4	2404,9
— gaze din procese chimice	859	493,5	691,2
— deşeuri din procese de natură chimică (leşii, borhot etc.)	351	273,0	331,0
— deşeuri combustibile din materie primă (rumeguş etc.)	380	319,0	351,2
— deşeuri combustibile din agricultură (coji, simburi etc.)	89	87,0	51,6
— altele (şlam, deşeuri etc.)	80	16,5	26,1
2. Termice din care :	3442	1447,4	2277,8
— abur uzat, condensat	2687	1304,4	1968,6
— căldura sensibilă a gazelor de ardere	649	103	275,2
— altele (căldură preluabilă din agenţi de răcire, reacţii chimice etc.)	95	40,0	34,0
Total resurse termice şi combustibile	7648	4741,8	6133,8

Resursele energetice secundare de suprapresiune şi mecanice din ţara noastră au valori neglijabile în comparaţie cu celelalte două categorii.

La nivelul anului 1976, resursele energetice secundare valorificate reprezintă 6134 mii t c.c., din care 3856 mii t c.c. combustibile şi 2 278 mii t c.c. termice.

În prezent gazele combustibile şi deşeurile combustibile sînt practic valorificate în întregime ; aceste categorii de resurse se valorifică în special în centrale de termoficare pentru producerea de căldură şi energie electrică. Pentru căldura sensibilă a gazelor de ardere s-au realizat soluţii cu centrale termice cu recuperatoare sub formă de abur şi apă fierbinte. Utilizarea căldurii fizice a deşeurilor calde pune probleme deosebite de natură tehnologică şi nu se întrevăd încă soluţii de recuperare.

Utilizarea căldurii din condensat sau abur uzat apare din ce în ce mai restrînsă, datorită folosirii transformatoarelor de abur şi recuperărilor prin preîncălzirea condensatului sau a apelor de adaos, în diferite circuite regenerative sau de încălzire.

3. Soluţii aplicate pentru valorificarea resurselor energetice secundare

Pentru valorificarea resurselor energetice secundare s-au folosit diverse soluţii de recuperare, funcţie de mărimea şi tipul resursei, de caracteristicile acesteia şi de posibilităţile de utilizare.

3.1. *Recuperarea resurselor secundare combustibile*

Aceste resurse se utilizează ca înlocuitori ai combustibililor energetici pentru producerea de căldură şi energie electrică.

Gazele reziduale din industria metalurgică sînt : gazele de furnal, de cocs, de cocs fluidizat, de semicocs.

La producerea unei tone de fontă se produc 1800—2400 m^3 de gaz de furnal. Fiind un combustibil dificil de transportat şi cu o putere calorică redusă, de 800—1000 kcal/Nm^3, se utilizează pentru nevoile tehnologice şi energetice ale uzinei respective, disponibilul constituind o sursă locală de combustibil.

Producţia specifică de gaz de cocs este de 0,22—0,28 t c.c./t, avînd o putere calorică inferioară, de 4000 kcal/Nm^3. Aceste gaze sînt captate, desprăfuite şi transportate prin conducte la consumator. Sînt folosite fie singure, fie în amestec de două gaze combustibile (bigaz), fie un amestec de două gaze reziduale cu gaz metan (trigaz), proporţiile fiind în funcţie de scopul recuperării şi de puterile calorice ale acestor resurse secundare gazoase.

În cadrul platformelor industriale, aceste gaze reziduale sînt recuperate ca combustibili în procesele tehnologice şi în scopuri energetice în centrale de termoficare.

În siderurgie, cea mai reprezentativă realizare de la noi din ţară este centrala de termoficare Galaţi, pentru valorificarea gazelor de furnal şi de cocs de la combinatul siderurgic.

Prin concepţia adoptată ca această centrală, pe de o parte, să preia gazele de furnal şi cocs cu un regim variabil în ceea ce priveşte debitul şi, pe de altă parte, să asigure cu căldură combinatul şi oraşul, din instalaţii cu mari performanţe energetice, reprezintă o soluţie deosebit de avantajoasă.

Economiile de combustibil care se realizează prin folosirea resurselor secundare la CET Galaţi se estimează la circa 800 000 t c.c. anual.

Centrala este echipată cu două grupuri de termoficare de 50 MW, din care se asigură aburul pentru combinat, şi cu două grupuri de termoficare de 100 MW, din care se livrează căldura pentru încălzire şi scopuri menajere ale oraşului Galaţi şi ale combinatului.

Cazanele de abur de 420 t/h, în număr de cinci, pot funcţiona numai cu gaze de furnal şi de cocs, cînd se obţin 360 t/h, şi în combinaţie cu gaze naturale sau păcură, cînd debitul unitar poate ajunge la 420 t/h. Adoptarea unui singur tip de cazan şi posibilitatea de a funcţiona cu o gamă largă de tipuri de combustibili îi oferă acestei centrale un grad mare de disponibilitate şi posibilitatea de valorificare integrală a gazelor de furnal şi de cocs.

Soluţii similare, însă de proporţii mai reduse, se întîlnesc şi la celelalte combinate siderurgice din ţară (Reşiţa, Hunedoara şi Călan), unde s-au realizat centrale de termoficare cu grupuri de 6 şi 12 MW.

Celelalte categorii de resurse combustibile (leşiile de la fabricile de celuloză, gazele combustibile de la combinaţiile chimice etc.) se valorifică în centrale electrice de termoficare cu grupuri de 3,6 sau 12 MW, potrivit mărimii cantităţilor de resurse disponibile.

3.2. *Recuperarea căldurii din gazele de ardere*

Soluţiile de recuperare a căldurii din gazele de ardere şi modul de valorificare a acesteia se stabilesc în funcţie de temperatura gazelor de ardere şi mărimea instalaţiei tehnologice.

Nivelurile de temperatură ale gazelor de ardere la ieşire din diferite agregate au următoarele valori :

Industria	Felul agregatului tehnologic	Temperatura gazelor de ardere, °C	Observaţii
Siderurgie	Furnale	200—400	După preîncălzitorul de aer
	Cuptoare de cocs	250—300	După preîncălzitorul de aer
Metalurgie	Cuptoare de forjă	900—1100	Fără preîncălzitor aer
	Idem	400—600	După preîncălzitorul de aer
	Cuptoare Siemens Martin	400—700	După preîncălzitorul de aer
Metalurgie şi construcţii de maşini	Cuptoare de forjă	800—1000	Fără preîncălzitor de aer
	Cuptoare de tratamente termice	600—700	—
Sticlă	Cuptoare pentru sticlă	900—1300	—
Ciment	Cuptoare de clincher	600—800	După preîncălzitorul de aer
		400—600	

Recuperarea căldurii din gazele de ardere se face în circuitele regenerative ale instalaţiilor prin preîncălzirea aerului sau în recuperatoare de căldură sub formă de abur sau apă fierbinte.

De menţionat că recuperarea numai în scopuri regenerative nu dă posibilitatea valorificării unei cantităţi mai mari de căldură, deoarece nivelul temperaturii gazelor de ardere la ieşirea din preîncălzitorul de aer rămîne totuşi ridicat (400—600°C).

Valorificarea căldurii din gazele de ardere prin recuperatoare de abur sau apă caldă dă posibilitatea recuperării unei cantităţi mai mari de căldură, temperatura gazelor la ieşirea din recuperator scăzînd pînă la 200°C.

Recuperatoarele de căldură sub formă de abur sau apă caldă se folosesc în general în domeniul de temperaturi de 400—1000°C.

De asemenea, acestea se folosesc ca a doua treaptă de recuperare după preîncălzirea regenerativă.

Recuperarea căldurii din gazele de ardere în două trepte : preîncălzirea aerului şi producerea de apă caldă sau abur, măreşte randamentul de folosire a combustibilului : la un cuptor de forjă de la 8—12% la circa 16% prin recuperarea regenerativă şi la circa 20% prin recuperarea sub formă de abur sau apă caldă.

În ţara noastră, la combinatele siderurgice, metalurgice şi chimice sînt instalate o gamă largă de recuperatoare sub formă de abur de 16 şi 40 ata. Aburul de 16 ata se foloseşte ca abur tehnologic în industrie, iar aburul de 40 ata se mai foloseşte şi ca abur pentru turbine de termoficare (Combinatul chimic Făgăraş, Roznov, Valea Călugărească, Năvodari etc.).

Soluţiile cu producerea de abur de 40 ata folosit în turbina cu condensaţie şi prize reglabile au fost determinate şi de necesitatea de a putea valorifica în tot timpul anului disponibilităţile de resurse secundare, prin producerea în perioada de vară de energie electrică în condensaţie, iarna consumul fiind asigurat de consumul de căldură pentru încălzire.

4. Unele preocupări privind recuperarea resurselor energetice secundare

În ceea ce priveşte valorificarea resurselor energetice secundare în România, în prezent sînt soluţionate practic toate categoriile de resurse care apar în cantităţi mari şi au un potenţial ridicat, accentul în continuare punîn-

du-se pe acele categorii de resurse energetice secundare care se găsesc în cantităţi reduse şi sînt de temperaturi mai coborîte. Aceste categorii de resurse se întîlnesc la cuptoare mici de forjă, de topit sticlă, tratamente termice etc.

Pentru această categorie de resurse, Institutul de studii şi proiectări Bucureşti a elaborat studii pentru stabilirea soluţiei optime de recuperare în condiţii de generalizare şi adaptabilitate la toate tipurile de agregate tehnologice de acest gen (cuptoare).

Soluţia propusă constă în instalarea pe fiecare agregat în parte a unor recuperatoare funcţionînd cu emulsie abur-apă, separarea aburului făcîndu-se pentru toate recuperatoarele din cadrul instalaţiei într-un separator comun.

Prin realizarea unei game mai mari de recuperatoare şi prin modificarea titlului emulsiei abur-apă, se face posibilă aplicarea acestei soluţii la toate tipurile şi mărimile de cuptoare, fără modificări în instalaţiile tehnologice şi ale modului de exploatare a acestora.

Această soluţie este în curs de realizare la o secţie de forjă dintr-o întreprindere con-

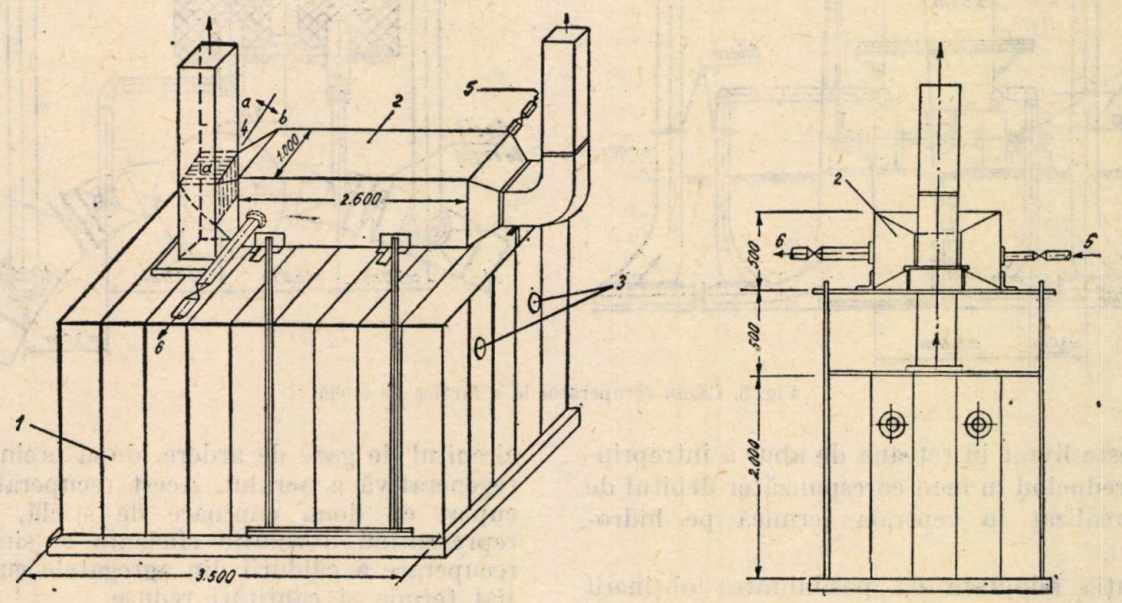


Fig. 1. Cazan recuperator dintr-o secţie de forjă.

1 — forjă; *2* — cazan recuperator; *3* — arzătoare; *4* — şiber; *5* — conductă apă de alimentare; *6* — conductă emulsie abur.

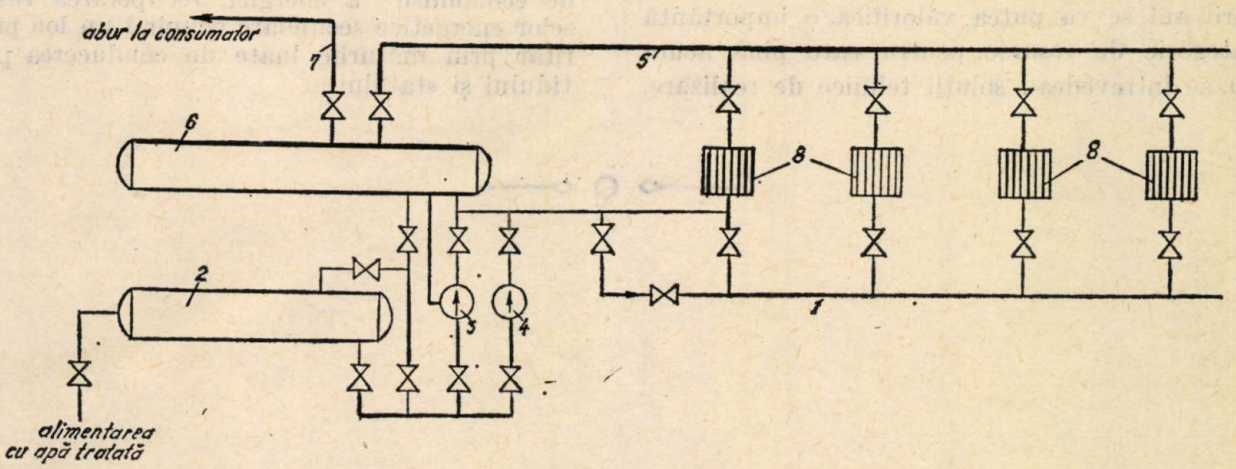


Fig. 2. Schemă de principiu a recuperării căldurii gazelor de ardere la o secţie de forjă.

1 — conductă apă de alimentare; *2* — rezervor-tampon; *3* — pompă de apă „Duplex" (acţionare cu abur); *4* — pompă de apă (acţionare electrică); *5* — conductă emulsie apă-abur; *6* — tambur separator; *7* — conductă abur saturat; *8* — recuperatoare.

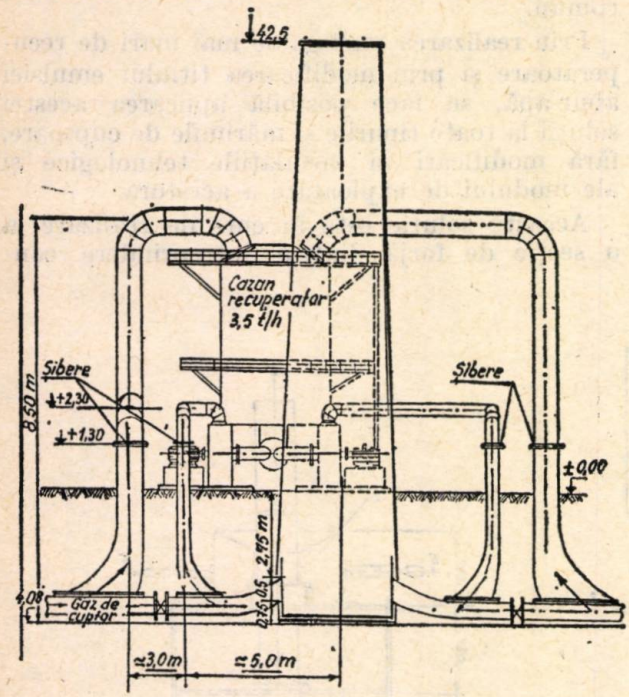
structoare de mașini, unde, la un număr de 24 cuptoare, se instalează trei tipodimensiuni de recuperatoare, 2 t/h, 1 t/h și 0,5 t/h, obținîndu-se într-o instalație unică de separare un debit de abur de 20 t/h de 16 ata. Acest abur este livrat în rețeaua de abur a întreprinderii, reducînd în mod corespunzător debitul de abur realizat în centrala termică pe hidrocarburi.

Soluția adoptată dă posibilitatea obținerii unui combustibil de circa 15 000 t c.c./an, ceea ce face ca investițiile să se recupereze în mai puțin de doi ani.

Prin generalizarea acestei soluții, în următorii ani se va putea valorifica o importantă categorie de resurse pentru care pînă acum nu se întrevedeau soluții tehnice de realizare.

În figurile 1 și 2 se arată modul de aplicare a acestei soluții la o instalație de forjă.

O soluție interesantă și recentă a fost și cea pentru cuptoarele de sticlă, care constă în introducerea unui recuperator de abur pe



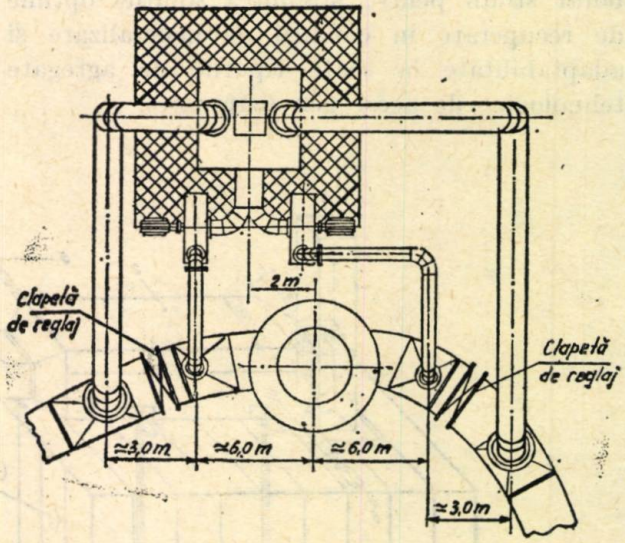


Fig. 3. Cazan recuperator la o fabrică de sticlă.

circuitul de gaze de ardere, după preîncălzirea regenerativă a aerului. Acest recuperator este cuplat cu două cuptoare de sticlă, aceasta reprezentînd o soluție eficientă și simplă de recuperare a căldurii din agregatele cu potențial termic și cantități reduse.

Ca încheiere a celor prezentate se poate spune că în România se acordă o atenție deosebită găsirii și rezolvării tuturor soluțiilor de economisire a energiei, recuperarea resurselor energetice secundare ocupînd un loc prioritar prin măsurile luate de conducerea partidului și statului.

Căi de reducere și raționalizare a consumurilor de energie și combustibili în industria chimică

Ing. E. Fercală*)

1. Structura consumurilor de energie în industria chimică

Ramură de vîrf în economia noastră, cu o dezvoltare deosebit de dinamică, industria chimică prelucrează sau valorifică superior importante cantități de hidrocarburi, cu aportul unor însemnate cantități de energie de diverse forme.

Pentru a avea o imagine asupra caracterului consumului de energie și combustibili, cît și asupra zonelor de incidență în care intervine activitatea personalului și specialiștilor tehnologi și energetici în consumul diverselor forme de energie, prezentăm pe scurt structura acestor consumuri realizată la nivelul anului 1977.

Consumul total de combustibili, energie termică și energie electrică preluată de la centralele M.E.E. a reprezentat circa 19,5 mil. t c.c. (folosind pentru formele de energie preluate de la M.E.E. coeficienții teoretici de transformare), respectiv circa 22 milioane t c.c. dacă se iau în considerare randamentele de transformare ale formelor de energie preluate din exterior. Dacă se scad formele de energie preluate din resursele energetice secundare rezultate din instalațiile proprii, rezultă că apelul ramurii industriei chimice la balanța de energie primară a fost la nivelul anului trecut de circa 20,4 mil. t c.c.

Pe feluri de energie și structură de consum, situația la nivelul anului 1977 se prezintă procentual astfel (structură care se va menține aproximativ și la nivelul anului 1980):

- Consum sub formă de energie electrică de la M.E.E. 6,57%
- Consum pentru producerea energiei electrice în surse proprii 1,73%
- Consum sub formă de energie termică preluată din exterior 14,62%
- Consum pentru producerea energiei termice în surse proprii 22,83%
- Consum pentru chimizare 35,08%
- Consum de combustibil consumat direct în cuptoare industriale 18,63%
- Carburanți și diverse scopuri 0,54%

Prin urmare, cu excepția consumului de combustibili utilizați ca materie primă, și care reprezintă circa 35% din consumul tuturor formelor de energie, în incidența directă a personalului energetic de exploatare intră circa 25% din consum, aferent producerii energiei electrice și energiei termice în surse proprii, în atribuțiile energeticienilor din ramura industriei chimice intrînd însă o cotă-parte mult mai însemnată, care reprezintă circa 65% din consum.

Deși o mare parte din necesarul de energie electrică și energie termică este asigurat de întreprinderile specializate ale M.E.E., în unitățile M.I.Ch. se produce circa 10—11% din necesarul de energie electrică și circa 63% din necesarul total de energie termică.

Sursele proprii de energie electrică sînt constituite din grupuri turbogeneratoare cu contrapresiune sau cu condensație și priză, cu puteri în general mici, cuprinse între 3 și 12 MW, și care au fost instalate din următoarele rațiuni:

— livrarea energiei termice la consumatori în regim de termoficare;

— mărirea gradului de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor importanți, cu integrarea centralelor proprii, printr-o automatică adecvată, în scheme de funcționare insulară în cazul incidentelor de sistem.

În centralele proprii sînt în prezent instalate 57 grupuri cu o putere instalată de 290 MW și care au produs în 1977 circa 1,2 mil. MWh, cu un număr de ore anual de utilizare a puterii instalate de circa 4200 (număr de ore redus, pe de o parte, datorită ponderii mari a grupurilor cu contrapresiune și, pe de altă parte, datorită faptului că la unele grupuri nu s-a asigurat un regim de funcționare continuă).

În regim de termoficare, din surse proprii au fost livrate circa 14 mil. Gcal, respectiv circa 48% din energia termică produsă în sursele proprii. Dacă se ia în considerare și energia termică preluată de la M.E.E., rezultă că 67% din consumul de energie termică al M.I.Ch. este asigurat în regim de termoficare, fapt care se traduce în final cu importante economii de combustibili pentru ramura producerii energiei electrice și termice. Referindu-ne, de exemplu, numai la centralele proprii, producerea energiei electrice în termoficare se traduce printr-o economie de combustibil prin reducerea apelului la balanța de energie primară, de circa 75 mii t c.c./an.

Referitor la energia termică produsă în sursele proprii, în întreprinderile M.I.Ch. se produc circa 29 mil. Gcal, din care circa 8,7 mil. Gcal, respectiv 30%, prin recuperare. Cu toate că debitele cazanelor de abur sînt mici, cuprinse între 10 și 120 t/h, datorită faptului că majoritatea agregatelor sînt de construcție recentă, cît și faptului că se utilizează hidrocarburi, randamentele producerii energiei termice sub formă de abur și apă fierbinte sînt

* Eugen Fercală este inginer principal II în cadrul Direcției mecanoenergetice și de automatizări din Ministerul Industriei Chimice.

comparabile cu cele obținute în agregatele de debite mari.

Referitor la consumul de combustibili ca energie primară, structura acestuia pe feluri de combustibil este formată din 2,68% combustibili solizi, 13,71% combustibili lichizi și 83,61% combustibili gazoși. Avînd în vedere ponderea mare a combustibililor lichizi și gazoși, de menționat că industria chimică, în calitate de prelucrător de combustibili petrolieri, își asigură circa 30% din necesar, cifră care urmează să crească ca urmare a creșterii importante a ponderii păcurii în consumul energetic.

Conștienți de faptul că industria chimică este un mare consumator de combustibil și energie, cu o pondere tot mai însemnată în balanța energetică a țării, reducerea consumului cît și a necesităților de combustibili și energie a stat în permanență în atenția oamenilor muncii din cadrul Ministerului Industriei Chimice, începînd cu faza de concepție și terminînd cu activitatea de exploatare a instalațiilor.

Pe linia gospodăririi mai bune a energiei și combustibililor, în unitățile industriei chimice au fost întreprinse măsuri încă din cursul cincinalului trecut, care au vizat în mod special recuperarea resurselor energetice secundare, dezafectarea unor instalații cu consumuri specifice ridicate, cu preluarea fabricației produsului respectiv pe instalații noi cu consumuri specifice reduse, modernizarea unor tehnologii, modernizarea sau înlocuirea unor utilaje energetice cu randamente reduse etc. Pe seama acestor măsuri a fost, de exemplu, posibilă obținerea în cursul cincinalului trecut a unor economii de combustibili ce au însumat peste 1,0 mil. tone combustibil convențional.

În cincinalul actual, ca urmare și a prevederilor Decretului nr. 620/1973, s-au intensificat eforturile privind găsirea tuturor căilor de raționalizare a consumului de combustibili și energie și aplicarea măsurilor și metodelor de gospodărire mai bună a tuturor formelor de energie.

În acest scop eforturile au fost și sînt în continuare îndreptate în direcții care cuprind etapele de concepție, dezvoltare, exploatare, cît și domeniile în care are loc consumul, transportul, distribuția sau transformarea formelor de energie pentru satisfacerea necesarului instalațiilor tehnologice.

2. Metode de reducere a consumurilor de combustibili și energie în industria chimică

2.1. *Măsuri pe linie tehnologică*

O importanță deosebită în cadrul măsurilor și direcțiilor de acționat în industria chimică o au cele care privesc direct tehnologiile aplicate, randamentele acestora, care au ca efect final un apel mai redus la balanța de energie primară. În acest sens ne putem referi la următoarele căi care s-au aplicat sau care se aplică în sectoarele de activitate ale industriei chimice :

2.1.1. Îmbunătățirea randamentelor de proces. Pentru instalațiile care se realizează, se studiază mai multe procedee tehnologice pentru obținerea produsului respectiv. În afara criteriului de eficiență totală a procesului ales, se analizează și se elimină acele tehnologii care au un consum mare de energie, combustibil sau alte utilități (frig, gaz inert, aer comprimat, apă industrială etc.).

O altă cale importantă, aplicată atît pentru instalațiile deja construite cît și pentru noile instalații o constituie *îmbunătățirea catalizatorilor* utilizați în procesele catalitice. Așa, de exemplu, în sectorul prelucrării țițeiului, în urma cercetărilor efectuate au rezultat catalizatori care permit producerea unor reacții avînd randamente egale sau mai ridicate în condiții în care atît presiunea cît și temperatura procesului au fost coborîte, fapt care a determinat scăderea consumurilor energetice pentru comprimarea și încălzirea fluidelor intrate în proces. Prin această metodă, în noile rafinării s-a redus presiunea procesului cu circa 20 atm, iar temperatura de reacție cu circa 30°C, concomitent cu reducerea ratiei de hidrogen recirculat.

Au rezultat astfel reduceri însemnate ale necesarului de energie electrică și combustibil, determinate de reducerea energiei necesare pentru comprimări, de reducerea temperaturii de reacție, cît și a necesarului de hidrogen, atît la faza respectivă a procesului cît și la fazele ulterioare.

Concomitent, creșterea vitezelor volumice a avut ca efect volume construite mai mici, cu pierderi mai reduse de căldură spre mediul înconjurător și, evident, cu consumuri mai reduse de metal și materiale.

2.1.2. Creșterea capacității unitare a liniilor și a proceselor tehnologice reprezintă o altă cale importantă de reducere a consumurilor specifice de energie electrică, energie termică, combustibili și utilități, raportate la tona de produs. Industria amoniacului este un exemplu elocvent în acest sens. În ultimii 25 de ani în această industrie s-a trecut de la unități mici, de circa 60 000t/an în anii 1950—1955, la capacități de 90 —100 000 t/an în perioada 1960 — 1965 și în prezent la capacități de 300 000 t/an, cu reducerea însemnată a consumului integral de energie, de la circa 2,4 t c.c./t la circa 1,55 t c.c./t la ultimele instalații. Odată cu creșterea capacității liniilor de fabricație a crescut și capacitatea agregatelor cheie din

proces (ca, de exemplu, reformerul principal şi cel secundar, compresorul de gaz sinteză etc.). O creştere similară a capacităţilor unitare pe liniile de fabricaţie s-a realizat şi la alte procese tehnologice, cu pondere însemnată în consumul de energie sau combustibil, ca, de exemplu, creşterea capacităţii liniilor de fabricaţie la acid sulfuric, metanol, etilenă, octanol, acetilenă, sodă caustică etc. În mod similar se prezintă situaţia şi în domeniul prelucrării ţiţeiului, unde capacitatea de prelucrare pe instalaţie a crescut de la 1—1,5 mil. t/an în deceniile trecute, la 3,5 mil. t/an în prezent, urmînd să ajungă la 6 mil. t/an şi instalaţie.

2.1.3. Modernizarea unor procese tehnologice cu consumuri mari de combustibili şi energie constituie o cale de reducere a necesarului de combustibil şi energie pentru instalaţiile aflate în exploatare, amortizate sau în curs de amortizare, ca rezultat al unei analize atente şi complexe a tuturor posibilităţilor de îmbunătăţire pe linie tehnologică sau energetică a instalaţiilor respective, cu luarea în considerare şi a ultimelor realizări ale tehnicii în domeniul respectiv. Ca măsuri mai importante, aflate în planul de modernizare a tehnologiilor din actualul cincinal şi cu efecte economice importante, în special în ceea ce priveşte reducerea necesarului de forme de energie, se pot cita :

— îmbunătăţirea procesului de obţinere a butadienei prin sinteză, prin aplicarea unor procedee moderne de dehidrogenare, prin care se reduce consumul specific de combustibil cu circa 1 t c.c./tona de butadienă ;

— modernizări ale instalaţiilor de reformare catalitică existente la C.P. Brazi, C.P. Borzeşti, C.P. Piteşti (etapa 1), prin modificări constructive la coloanele de stripare, înlocuire de catalizatori etc. ;

— modernizarea instalaţiilor de distilare primară la rafinăriile vechi, cu organizarea mai judicioasă a fluxurilor termice şi cu recuperarea mai intensă a căldurii gazelor arse ;

— adoptarea unor procedee continue de fabricaţie ;

— transportul în stare lichidă al unor substanţe chimice la consumatorii industriali, cu suprimarea consumurilor aferente concentrărilor sau solidificării ;

— introducerea conversiei oxidului de carbon la joasă temperatură la unele instalaţii vechi de amoniac etc.

2.1.4. Dezafectarea unor instalaţii cu consumuri mari de energie şi conbustibili. O altă cale posibilă de reducere a necesarului de combustibili şi energie o constituie renunţarea la fabricarea unor sortimente care antrenează consumuri mari de energie şi combustibili, în cazul în care funcţiunile acestora pot fi preluate de alte sorturi, cu consumuri reduse, sau în cazul în care economia noastră se poate dispensa de acestea. Tot pe această linie se înscrie şi dezafectarea instalaţiilor tehnologice cu randamente scăzute, cu preluarea producţiei aferente pe instalaţii noi, cu randamente superioare. Pe această linie se înscriu măsurile din programul de dezafectare a unor instalaţii vechi de amoniac, de acetilenă din carbid şi a instalaţiei aferente de monomer pentru PVC, care realizau consumuri globale de energie mari, precum şi dezafectarea unor instalaţii care produceau sortimente de negru de fum cu consumuri mari de gaze naturale.

2.2. *Recuperarea resurselor energetice secundare*

Recuperarea resurselor energetice secundare constituie o rezervă importantă de asigurare a necesarului propriu de combustibili sau energie termică. Natura foarte diversă a proceselor în industria chimică, în care se prelucrează sau se consumă cantităţi apreciabile de combustibili, generează resurse energetice secundare diverse, recuperate sau posibil de recuperat, cu efecte majore asupra reducerii necesarului de combustibili şi de energie termică, respectiv asupra apelului industriei chimice la resursele de energie primară. Astfel, la nivelul anului 1977, resursele recuperate au reprezentat 21,3% din consumul energetic. Resursele secundare cresc atît în valoare absolută, dublîndu-se în 1980 faţă de cantităţile recuperate în 1977, cît şi în valoare relativă, cînd vor reprezenta circa 25% din consumul de combustibili utilizaţi în scopuri energetice. La nivelul anului 1980, structura acestor recuperări va fi constituită astfel :

— resurse energetice secundare combustibile, în proporţie de circa 27,2% (circa 1,26 mil. t c.c.), constituite în principal din gaze reziduale rezultate ca deşeu din procesele de chimizare, care nu mai prezintă calităţi pentru a fi utilizate tehnologic, dar care mai pot fi utilizate pentru ardere, deşi puterea calorifică a acestora este uneori destul de scăzută ;

— resurse energetice secundare termice, în proporţie de circa 72,8% (circa 3,37 mil. t c.c.), în care ponderea o deţine şi în continuare recuperarea căldurilor de reacţie pentru generare de abur necesar în procesele tehnologice ; resurse energetice secundare termice se mai recuperează şi din căldura gazelor arse, din căldura condensatului şi aburului uzat şi din căldura produselor şi deşeurilor calde.

Cea mai mare parte a recuperărilor de mai sus se face pe seama instalaţiilor tehnologice, concepute şi realizate astfel ca să utilizeze în mod complex şi cît mai complet toate formele de energie rezultate din procesele chimice. În

paralel cu prevederea valorificării resurselor energetice secundare încă din faza de concepție a instalațiilor, o sursă potențială de reducere a necesarului de combustibili pentru platformele industriei chimice o constituie recuperarea tuturor resurselor energetice secundare nerecuperate și rezultate ca economic valorificabile. În acest scop a fost necesară inițial o inventariere cît mai completă și exactă a tuturor resurselor nerecuperate, stabilirea oportunității unor recuperări care sînt incerte ca eficacitate, stabilirea unor priorități a recuperărilor în funcție de mărimea și calitatea acestora, de disponibilitățile existente privind soluțiile tehnice aplicabile, de disponibilitățile materiale privind fonduri, utilaje etc.

În urma inventarierii resurselor energetice secundare nerecuperate și a elaborării unor studii de oportunitate, este prevăzută în actualul cincinal recuperarea a circa 420 mii t c.c. rezultate ca economic valorificabile, din care lucrările pentru recuperarea a circa 350 mii t c.c. sînt în faza de elaborare a documentațiilor sau de realizare, cu termene de punere în funcțiune pînă la sfîrșitul actualului cincinal. Direcțiile principale în recuperarea resurselor nerecuperate au la bază structura acestor resurse și sînt în principal următoarele :

— recuperarea gazelor de faclă prin intermediul unor instalații de regularizare a debitelor și de comprimare, cu introducerea acestora în rețelele de gaze combustibile. Utilizarea gazelor reziduale în amestec cu gazele naturale sau gaze de rafinărie impune de multe ori efectuarea unor modificări în instalațiile de ardere ale consumatorilor, în care caz este necesară colaborarea cu specialiștii în probleme de ardere din sectoarele de cercetare ale M.I.C.M.

Se menționează din această categorie recuperarea gazelor de faclă în instalații realizate sau în curs de realizare de pe platformele C.P. Borzești, C. P. Pitești, C.P. Brazi, C.F.S. Săvinești, C.C. Rm. Vîlcea, „Carbosin"-Copșa Mică, C.C. Craiova ;

— recuperarea căldurii gazelor fierbinți cu producere de abur în cazane recuperatoare sau cu preîncălzirea aerului de combustie ; pe această cale s-au realizat recuperări la cuptoarele tehnologice din rafinării (de exemplu, la instalațiile RC de la rafinăriile Borzești și Brazi) sau din subramura produselor anorganice ;

— recuperarea căldurii produselor calde pentru preîncălzirea produselor care se introduc în procesul tehnologic sau pentru producere de abur, măsură aplicată sau cu posibilități de aplicare în special în rafinării, unde se încălzesc și se vehiculează cantități mari de fluide cu posibilități de recuperare regenerativă a fluxurilor de căldură disponibile ;

— recuperarea căldurii condensatului și în general sistematizarea gospodăriilor de condensat pentru a permite recuperarea selectivă a condensatului curat și utilizarea căldurii condensatului impurificat, înainte ca acesta să fie îndepărtat sau utilizat ca apă de adaos în circuitele de apă industrială. Sînt de menționat instalațiile realizate în acest scop pe platformele C.P. Borzești, C.F.S. Săvinești, cît și recuperările prevăzute a se realiza pe platformele C.P. Pitești, Rafinăria Dărmănești, Întreprinderea de medicamente București ;

— recuperarea aburului uzat sau diminuarea cantităților de abur de joasă presiune rezultat din instalații, ca, de exemplu, prin echilibrarea sistemelor de acționare etc.

Ca exemplu de utilizare complexă, în special a resurselor energetice secundare cu nivel coborît, se pot cita măsurile de recuperare a căldurii gazelor calde, căldurii condensatului și aburului uzat disponibilă la diverse instalații de pe platforma C.I.C. Turnu-Măgurele, care vor avea ca efect disponibilizarea a circa 28 t/h abur ce va putea fi utilizat în cadrul instalațiilor de termoficare a orașului, sau în uzina de utilaj chimic.

În procesele tehnologice și instalațiile în curs de proiectare, căile cele mai eficiente de recuperare constau în recuperarea foarte avansată și la un nivel energetic ridicat a tuturor resurselor secundare din proces : reacții exotermice, deșeuri combustibile gazoase sau lichide, căldura produselor fierbinți etc., care sînt folosite la producerea de abur la parametri ridicați, cu care se face acționarea tuturor agregatelor. După prelucrarea energetică a aburului, acesta este utilizat pentru procese de încălzire a diverselor fluide tehnologice, iar căldurile reziduale pot fi utilizate pentru producerea frigului în instalații cu absorbție cu soluție amoniacală sau bromură de litiu, cazuri în care prețul de revenire al frigului obținut se reduce la jumătate față de producerea frigului prin compresie și care permite utilizarea unor resurse energetice cu nivel energetic coborît (abur de 1,0—1,5 ata), în special în sezonul călduros, cînd scade numărul consumatorilor respectivi.

Ca metode constructive de realizare a recuperărilor, pe lîngă producerea de abur la parametri cît mai ridicați, se preconizează amplasarea generatoarelor sau supraîncălzitoarelor de abur direct în agregatele generatoare de resurse (cuptoare, reformere sau reactoare). Avantajele noilor soluții constau atît în nivelul ridicat al parametrilor aburului obținut, cît și în reducerea costului instalațiilor și a volumului utilajelor aferente acestor investiții.

2.3. *Măsuri pe linie energetică*

În afara metodelor enumerate pînă acum, care privesc organizarea mai raţională a fluxului tehnologic pentru gospodărirea mai bună a combustibililor şi formelor de energie utilizate în procese, o categorie diversă de măsuri care au ca efect reducerea consumurilor de combustibili şi energie privesc instalaţiile energetice şi în general sectorul de activităţi mecano-energetice şi de automatizări din întreprinderile industriei chimice, căile de reducere fiind în principal următoarele :

2.3.1. În instalaţiile producătoare de energie electrică, energie termică şi utilităţi. Aşa cum s-a arătat, în intreprinderile industriei chimice se produce peste 10% din energia electrică necesară, peste 60% din energia termică consumată sub formă de abur şi apă fierbinte şi integral necesarul de alte utilităţi (frig, aer comprimat, apă industrială de diverse calităţi, gaz inert etc.). Avînd în vedere ponderea mare a acestor instalaţii (de circa 30%) în consumul de combustibil şi energie, creşterea randamentelor în aceste agregate producătoare constituie una din căile aflate la dispoziţia lucrătorilor din sectoarele de proiectare, exploatare sau întreţinere-reparaţii, concretizată prin următoarele :

— utilizarea ciclurilor de termoficare cu producerea combinată a energiei electrice şi energiei termice ;

— utilizarea cazanelor de abur şi apă fierbinte cu randamente ridicate ; dezafectarea sau trecerea în rezervă rece a cazanelor cu randamente coborîte. Astfel, pe linia modernizării sau înlocuirii cazanelor de abur, în urma elaborării bilanţurilor energetice s-au pus în evidenţă circa 100 cazane, în general cu debite mici, cu randamente sub 80%, care în prezent sînt în curs de înlocuire sau modernizare ;

— controlul permanent al arderii la cazanele de abur şi apă fierbinte, cu reducerea excesului de aer în limitele dictate de punctul de rouă acid pe traseul gazelor de ardere ;

— optimizarea echilibrării sarcinilor pe agregatele energetice pentru reducerea la minimum a pierderilor şi consumurilor proprii tehnologice ;

— efectuarea, conform normativelor, a lucrărilor de verificare profilactică, revizie şi reparaţii, în scopul menţinerii unui grad ridicat de disponibilitate a echipamentului energetic ;

— mărirea gradului de fiabilitate al utilajelor şi schemelor tehnologice, care are ca efect reducerea numărului de întreruperi accidentale, care antrenează consumuri neproductive de energie, combustibili şi utilităţi ;

— obţinerea gazului inert prin purificarea gazelor arse prelevate de la diferite cuptoare industriale, în locul utilizării pentru acest scop a gazelor naturale etc.

2.3.2. În instalaţiile de transport şi distribuţie a formelor de energie. În instalaţiile de transformare, transport şi distribuţie a formelor de energie se consumă sau se pierd pînă la 10% din cantităţile transportate. Determinarea prin bilanţuri energetice a nivelului pierderilor în reţelele de transport şi localizarea zonelor cu pierderi peste limitele normale este o acţiune necesară care se efectuează periodic pentru a se determina locul, cît şi volumul lucrărilor de remediere. Efectuarea lucrărilor de menţinere şi de îmbunătăţire a nivelului de izolaţie în instalaţiile energetice de transformare, transport sau distribuţie poate conduce la diminuarea apreciabilă a pierderilor sau consumurilor proprii pentru aceste activităţi.

2.3.3. În instalaţiile consumatoare. Pe lîngă măsurile cu caracter tehnologic enunţate, în instalaţiile consumatoare s-au utilizat următoarele căi de reducere a consumurilor :

a) În cuptoarele industriale : circa 25% din necesarul de combustibili al industriei chimice se consumă în cuptoare industriale. Căile prin care se poate raţionaliza acest consum şi prin care se acţionează de către unităţile M.I.Ch. sînt următoarele :

— modernizarea şi înlocuirea cuptoarelor cu randamente necorespunzătoare ; dintr-o analiză recentă, desfăşurată pe această linie, a rezultat necesitatea modernizării sau înlocuirii unui număr de circa 220 cuptoare (circa 25% din dotarea existentă), acţiunea fiind în curs de desfăşurare. Îmbunătăţirile constau în montarea de recuperatoare, modernizarea instalaţiilor de ardere, dotări cu aparatură de măsură, control şi automatizare, îmbunătăţirea izolaţiilor termice, reducerea excesului de aer etc. ;

— urmărirea realizării unei arderi corespunzătoare la agregatele consumatoare de combustibili, prin dotarea cu analizoare sau efectuarea periodică a analizei gazelor arse, cu luarea operativă, în exploatare, a măsurilor care se impun ;

— modernizarea şi înlocuirea arzătoarelor necorespunzătoare. Ca urmare a acestei acţiuni, s-au testat un număr de peste 10 500 arzătoare, în urma căreia s-au depistat şi înlocuit sau modernizat arzătoarele necorespunzătoare. Pentru instalaţiile noi se urmăreşte ca la punerea în funcţiune să se verifice, de către comisii destinate în acest scop, performanţele fiecărui tip care urmează a se pune în funcţiune.

b) La instalațiile consumatoare de energie electrică.

Posibilitățile de reducere a consumului de energie electrică și căile pe care se acționează pe această linie sînt în principal următoarele :

— înlocuirea motoarelor supradimensionate sau a agregatelor antrenate care au randamente mecanice scăzute ;

— separarea circuitelor de forță de cele de iluminat și sectorizarea acestora pe instalații și nivele ;

— înlocuirea iluminatului incandescent și apropierea surselor de iluminat de locurile de muncă ;

— raționalizarea consumurilor de apă de răcire, menținerea calității apei industriale și a suprafețelor de schimb de căldură, reducerea pierderilor de aer comprimat și de fluide energetice ;

— mărirea gradului de siguranță în alimentarea cu energie electrică, energie termică și gaze naturale a consumatorilor industriei chimice, în care sens există elaborate programe detaliate de măsuri pentru fiecare loc de consum ;

— realizarea încă din faza de proiectare a circulației produselor sau fluidelor prin cădere liberă, cu evitarea fazelor de pompare intermediară ;

— introducerea anozilor de titan în industria fabricării sodelor ;

— adoptarea unor scheme de alimentare cu energie electrică de tip racord adînc pentru apropierea surselor de consumatori ;

— îmbunătățirea factorului de putere etc.

c) La instalațiile consumatoare de energie termică :

— trecerea încălzirilor de pe abur pe apă fierbinte ;

— diafragmarea rețelelor de termoficare pentru echilibrarea sarcinii termice și înscrierea în ecartul de temperatură normat ;

— recuperarea integrală a condensatului prin sistematizarea rețelelor de distribuție și a gospodăriilor de recuperare a condensatului, căile de acționare pe această linie constînd în principal în : dotarea tuturor consumatorilor cu oale de condensat cu respectarea prescripțiilor de montare, înlocuirea și întreținerea permanentă a oalelor de condensat în condiții normale de funcționare, sistematizarea gospodăriilor de condensat cu colectarea selectivă a condensatului pur, care să fie returnat la sursa de abur, colectarea condensatului impur și recuperarea căldurii acestuia, tratarea condensatului impurificat în cadrul limitelor economice de tratare pentru a fi reutilizat în proces.

2.4. *Măsuri pe linia exploatării și întreținerii instalațiilor industriale*

— menținerea parametrilor de exploatare în limitele de proiect ale proceselor tehnologice ;

— automatizarea menținerii parametrilor instalațiilor tehnologice, cu reducerea amplitudinii abaterilor de la valoarea medie ; introducerea calculatoarelor de proces ;

— realizarea unor reparații de calitate prin ridicarea continuă a nivelului profesional al personalului de intervenție și reparații, cît și prin pregătirea minuțioasă a reparațiilor cu asigurarea corespunzătoare cu forță de muncă, materiale și piese de schimb ; creșterea gradului de policalificare a personalului de intervenție și reparație ;

— creșterea gradului de fiabilitate a materialelor utilizate la confecționarea pieselor de schimb sau la efectuarea lucrărilor de reparații ;

— efectuarea și reactualizarea periodică a bilanțurilor energetice în scopul depistării pe parcursul exploatării a nivelului și cuantumului pierderilor ;

— punerea la punct a măsurătorilor pe toate componentele principale ale bilanțurilor energetice ; introducerea unui sistem modern și eficient de urmărire și analiză statistică a consumurilor energetice ; utilizarea calculatoarelor în urmărirea consumurilor totale și specifice ale formelor de energie.

Pentru reușita căilor de raționalizare expuse în cele de mai sus, este necesară și colaborarea cu specialiștii din ramura construcției de mașini sau energiei electrice, care pot să aducă un aport efectiv și necesar în ramura industriei chimice, prin punerea la dispoziția proiectanților și unităților industriale a unor utilaje de recuperare specifice care să fie tipizate într-o gamă uzuală de utilizare, cum ar fi : preîncălzitoare statice (cu țevi, ceramice, cu plăci etc.), preîncălzitoare rotative (pentru gaze calde, pentru aer cald evacuat din instalațiile de ventilație cu conținut de noxe, etc.), pompe de căldură, instalații de producere a frigului cu surse termice de parametri coborîți, regulatoare de temperatură fără sursă de energie auxiliară, turbine de trecere pentru utilizarea resurselor energetice secundare de suprapresiune etc.

Din considerentele expuse rezultă că o stare corespunzătoare de succes pe linia raționalizării consumurilor de combustibili și energie se poate realiza numai printr-o conjugare eficientă și permanentă a eforturilor atît ale tehnologilor cît și ale energeticienilor din sectorul industriei chimice, cu antrenarea și a specialiștilor în problemele respective din celelalte sectoare ale economiei noastre.

Efecte energetice realizabile prin utilizarea pompei de căldură de 0,7 Gcal/h în schemele de recuperare a resurselor energetice secundare

Alexandru Florescu
Natalia Burchiu
Toma Dragomir
Mircea Ghiţulescu*)

1. Generalităţi

Existenţa în industrie a unor resurse energetice secundare de potenţial termic scăzut (căldură-deşeu sub formă de apă de răcire, leşii reziduale, gaze de ardere, produse secundare etc.), nevalorificabile direct, pe de o parte, şi politica energetică de raţionalizare a consumurilor de energie în condiţiile crizei energetice mondiale actuale, pe de altă parte, au pus problema găsirii unor soluţii de punere în valoare a acestor resurse energetice secundare (RES) de potenţial termic scăzut, respectiv recuperarea, parţială sau totală, a acestei călduri-deşeu, ridicarea potenţialului său termic şi reutilizarea ei în procesele consumatoare de căldură.

Desigur că existenţa sursei de căldură-deşeu, care se recuperează, trebuie să se coreleze şi cu existenţa, în vecinătate sau la o distanţă convenabilă, a consumatorului adecvat utilizării căldurii recuperate.

Un procedeu eficace de recuperare a acestei călduri-deşeu este cel prin intermediul unui ciclu cu pompă de căldură.

Este bine cunoscut că la un ciclu cu pompă de căldură coeficientul de performanţă (eficienţa), care reprezintă raportul dintre cantitatea de căldură utilă livrată de pompa de căldură şi energia consumată pentru reciclarea căldurii-deşeu, are o valoare supraunitară. Aceasta poate conduce la obţinerea de avantaje energetice şi economice faţă de procedeele uzuale de producere a căldurii prin arderea combustibililor clasici avantaje care, ţinînd seama de evoluţia disponibilităţilor de energie primară, se vor accentua în mod continuu în viitor.

Cercetările efectuate în ICEMENERG au vizat următoarele obiective :

— stabilirea domeniilor în care se dovedeşte oportună utilizarea pompelor de căldură ;

— realizarea şi experimentarea unor prototipuri de pompe de căldură de diferite capacităţi ;

— realizarea unor aplicaţii practice demonstrative.

În cele ce urmează sînt prezentate cîteva posibilităţi de aplicare a pompei de căldură de 0,7 Gcal/h în scopul valorificării căldurii-deşeu conţinute în apa industrială, după utilizarea acesteia într-un proces tehnologic, precum şi efectele energetice realizabile.

2. Caracteristici tehnice şi funcţionale ale pompei de căldură de 0,7 Gcal/h

Agregatul de pompă de căldură cu putere termică unitară 0,7 Gcal/h poate fi încadrat în mod avantajos în schemele de recuperare şi valorificare a căldurii-deşeu din industrie în scopul încălzirii locuinţelor şi preparării apei calde de consum.

ICPIAF Cluj-Napoca, în calitate de colaborator la cercetările ICEMENERG, a studiat posibilităţile de realizare a unei pompe de căldură de 0,7 Gcal/h cu echipamente din fabricaţia curentă a industriei constructoare de maşini frigorifice, care va fi produsă în cursul anului 1978.

Principalele caracteristici tehnice ale acestei pompe de căldură sînt :

— tipul pompei	GPC-680
— capacitatea nominală	0,68 Gcal/h
— temperatura de vaporizare	20°C
— temperatura de condensare	60°C
— debitul de apă din vaporizator	125 m³/h
— debitul de apă din condensator	73 m³/h
— temperatura apei intrare/ieşire vaporizator	30/25°C
— temperatura apei intrare/ieşire condensator	45/55°C
— agentul frigorific de lucru	R12
— puterea instalată	200 kW
— tensiunea de alimentare	380 V ; 50 Hz

Agregatul este echipat cu două compresoare cu piston, dintre cele mai mari din gama de fabricaţie curentă în ţară, ceea ce reprezintă pentru pompa de căldură capacitatea termică apropiată de plafonul realizabil cu compresoare cu piston indigene.

La proiectarea agregatului s-a adoptat soluţia echipării grupului cu două compresoare în tandem, soluţie care prezintă avantajul măririi elasticităţii în exploatare, datorită posibilităţii funcţionării cu un singur compresor, realizîndu-se astfel jumătate din capacitatea termică a instalaţiei.

3. Soluţii de utilizare a agregatului de pompă de căldură apă-apă de 0,7 Gcal/h în scheme de încălzire şi preparare centralizată a apei calde de consum pentru ansambluri de locuinţe

Cercetările efectuate în ICEMENERG privind aplicarea pompelor de căldură în R.S. România au stabilit domeniile de oportunitate ale utilizării acestui tip de agregate în scopul valorificării surselor de căldură cu potenţial termic scăzut.

*) Autorii sînt cercetători ştiinţifici la ICEMENERG.

Încălzirea clădirilor și prepararea apei calde de consum reprezintă un domeniu avantajos de aplicare a pompelor de căldură, întrucît necesită nivele moderate de temperaturi.

Pentru a ilustra prin calcule efectele energetice realizabile prin utilizarea agregatelor de pompe de căldură de 0,7 Gcal/h, s-au selectat două cazuri tipice care se întîlnesc mai frecvent în practică :

a) prepararea apei calde de consum pentru un ansamblu de locuințe sau băi publice ;

b) încălzirea centralizată și prepararea apei calde de consum pentru un grup de clădiri mari (ansamblu de blocuri, clădiri social-administrative etc).

3.1. *Prepararea centralizată a apei calde de consum cu agregate de pompă de căldură de 0,7 Gcal/h*

În figura 1 este prezentată soluția de încadrare a agregatelor de pompă de căldură în schema de preparare a apei calde de consum pentru un ansamblu de locuințe. Prepararea apei calde de consum se face într-o schemă cu acumulare pentru preluarea vîrfurilor de consum. Căldura-deșeu (apa rezultată dintr-un proces tehnologic), cu o temperatură de 30—35°C, intră în vaporizatorul *2* al pompei de căldură și se răcește cu circa 5 grd, cedînd căldură agentului frigorific (R12) care vaporizează.

Vaporii de freon rezultați sînt comprimați în compresorul *8* și introduși apoi în condensatorul *7*, unde condensează cedînd căldura pe

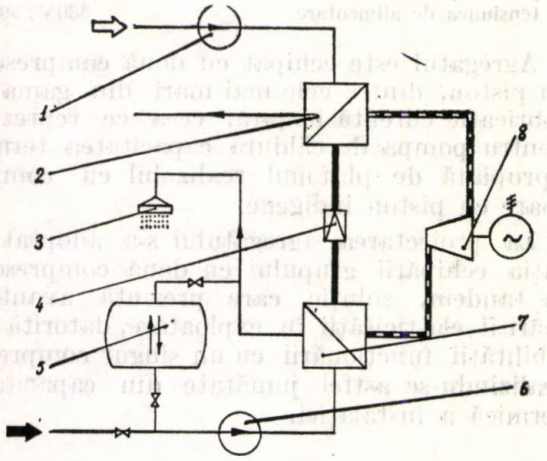


Fig. 1. Schemă de preparare a apei calde de consum cu agregate de pompă de căldură de 0,7 Gcal/h.

care o conțin apei reci de la rețea. Aceasta se încălzește pînă la temperatura necesară consumatorilor (circa 50°C).

În perioadele cu consum scăzut, apa caldă se acumulează în rezervorul *5*, urmînd a fi consumată în perioadele de creștere a consumului.

3.2. *Încălzirea centralizată și prepararea apei calde de consum cu agregate de pompă de căldură apă-apă de 0,7 Gcal/h*

În cazul schemei prezentate în figura 2, agregatele de pompă de căldură participă la acoperirea unei părți din necesarul de căldură maxim orar al unui ansamblu de locuințe, diferența fiind acoperită dintr-o sursă de vîrf (centrală termică).

Schema este concepută astfel încît să permită încălzirea locuințelor și prepararea apei calde de consum cu acumulare în perioada de iarnă și numai prepararea de apă caldă de consum în perioada de vară.

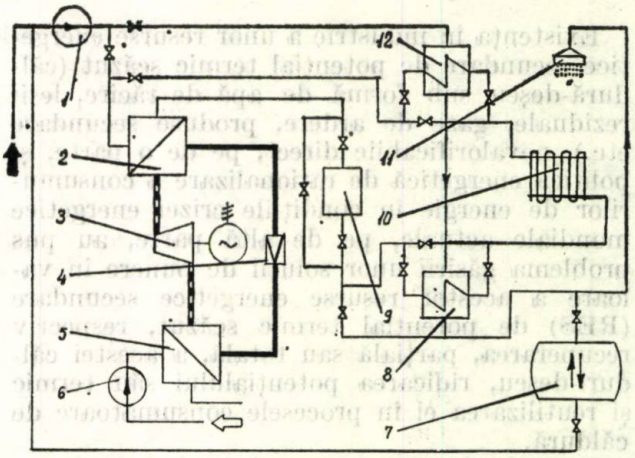


Fig. 2. Schemă de încălzire centralizată și preparare a apei calde de consum cu agregate de pompă de căldură de 0,7 Gcal/h.

Funcționarea în perioada de iarnă se realizează astfel :

Apa returnată de instalațiile interioare de încălzire *10* intră în condensatorul *2* al pompei de căldură, după ce a cedat o parte din căldura sa apei calde de consum în schimbătorul de căldură *12* treapta I. În condensator, apa se încălzește pînă la un anumit nivel, preluînd căldura cedată de agentul de lucru (vapori de freon) și este adusă la temperatura corespunzătoare graficului de reglaj cu ajutorul sursei de vîrf *9*.

Apa caldă de consum se prepară în schema cu două trepte serie cu acumulare.

În perioada de vară trebuie asigurat numai necesarul de apă caldă de consum. Astfel, pompa *1* preia apă din rețeaua de apă potabilă și o introduce în condensatorul pompei de căldură, după care apa caldă produsă este distribuită consumatorilor *11*, cu posibilitatea de a fi acumulată în rezervorul de acumulare *7*.

4. Ipoteze de calcul și rezultate

Ca instalație cu performanțe energetice superioare, dar cu investiții relativ ridicate, pompa de căldură este economic eficientă numai dacă i se asigură un grad ridicat de utilizare.

4.1. Schema de utilizare propusă la pct. 3.1 realizează acest deziderat, cele două agregate de pompă de căldură trebuind să asigure prepararea apei calde de consum pentru un ansamblu de locuințe.

Necesarul de căldură pentru prepararea apei calde de consum are o valoare relativ constantă în tot timpul anului, iar nivelul temperaturilor este moderat, ceea ce determină funcționarea agregatelor de pompă de căldură într-un regim economic pe întreaga durată de utilizare.

Calculele au fost efectuate în ipoteza existenței unui consumator de căldură de tip ansamblu de locuințe urbane, cu un necesar maxim orar de căldură (pentru încălzire și prepararea apei calde de consum) de 6,5 Gcal/h. Din acesta, necesarul de căldură pentru prepararea apei calde de consum reprezintă circa 20%, adică 1,3 Gcal/h, și este integral preluat de agregatele de pompă de căldură. Avînd în vedere mărimea consumului ce trebuie asigurat, au fost prevăzute două agregate de pompă de căldură de 0,7 Gcal/h.

Necesarul de încălzire a ansamblului de locuințe se consideră a fi asigurat dintr-o centrală termică de zonă funcționînd cu combustibil lichid (păcură).

Soluția față de care se face comparația este soluția clasică, în care întreg necesarul (de încălzire și preparare a apei calde de consum) este asigurat de o centrală termică de zonă funcționînd cu combustibil lichid (păcură).

În continuare sînt prezentate ipotezele de bază, rezultatele calculelor efectuate, precum și avantajele energetice ale soluției propuse față de soluția clasică considerată.

— Sarcina termică orară la vîrf (pentru încălzire și prepararea apei calde de consum) 6,5 Gcal/h
— Sarcina termică orară medie, pentru prepararea apei calde de consum 1,3 Gcal/h
— Debitul apei calde de consum 32,5 m³/h
— Temperatura apei calde de consum 50°C
— Temperatura apei potabile 10°C
— Număr de agregate de pompă de căldură 2 buc.
— Debitul de apă al sursei de căldură-deșeu 249 m³/h
— Temperatura apei sursei de căldură-deșeu 30°C
— Temperatura de vaporizare în pompa de căldură 20°C
— Temperatura de condensare în pompa de căldură 55°C
— Eficiența pompei de căldură 5,85
— Consum orar de energie electrică mediu anual 258 kWh/h
— Consum anual de energie electrică 1,82 GWh/ah
— Consum anual de combustibil în sistem pentru energia electrică consumată de pompa de căldură (considerînd b^{sist} = 0,336 kg c.c./kWh) 610 t c.c./an
— Consum de combustibil în soluția clasică de comparare (considerînd $b_{centrală\ termică}$ = = 0,176 t c.c./Gcal) 1600 t c.c./an
— Economia anuală de combustibil realizată în soluția cu pompe de căldură față de soluția clasică 990 t c.c./an

4.2. Pentru schema propusă la pct. 3.2 s-au avut în vedere două variante de grafic de reglare a livrării căldurii la consumator : graficul 95/75°C și graficul 65/45°C.

Datorită faptului că pompa de căldură realizează performanțe superioare cu cît „înălțimea de pompare" a căldurii este mai mică, rezultă că pentru încălzirea clădirilor trebuie avute în vedere sisteme de încălzire cu grafice de temperaturi mai scăzute decît cele clasice (de exemplu 65/45°C).

Alimentarea cu căldură a consumatorilor se face dintr-o centrală dotată cu două agregate de pompă de căldură apă-apă de 0,7 Gcal/h.

În sezonul de încălzire, agregatele de pompă de căldură participă la acoperirea unei părți din necesarul de încălzire și preparare a apei calde de consum, iar în sezonul cald cu un singur agregat de pompă de căldură se asigură prepararea apei calde de consum.

În tabelul 1 sînt prezentate ipotezele de bază, precum și rezultatele calculelor comparative față de soluția clasică (centrală termică), în două variante :

Varianta I : livrarea căldurii la consumatori după graficul de reglaj 95/75°C.

Varianta II : livrarea căldurii la consumatori după graficul de reglaj 65/45°C.

În cazul variantei I (cu grafic de reglaj „clasic", 95/75°C), soluția propusă realizează o economie anuală de combustibil de 722 t c.c./an.

În cazul variantei II (cu grafic de reglaj „redus", 65/45°C), datorită faptului că pompa de căldură funcționează la nivele mai moderate de temperatură și deci cu o eficiență mai mare comparativ cu varianta I, se realizează o economie anuală de combustibil mai mare, respectiv 929 t c.c./an.

Trebuie însă menționat faptul că în cazul variantei II este necesară o supradimensionare a instalațiilor interioare de încălzire de circa 2,5—3 ori, sau înlocuirea lor cu corpuri de încălzire de mare randament, ceea ce presupune o investiție suplimentară pentru aplicarea procedeului.

Soluția optimă se poate stabili de la caz la caz, făcîndu-se un calcul tehnico-economic în care se va ține seama de valoarea investițiilor necesare aplicării procedeului, pe de o parte, și de reducerea cheltuielilor anuale totale, pe de altă parte.

Tabelul 1

Nr. crt.	Mărimea	U.M.	Varianta I	Varianta II	Observații
1	Sarcina termică totală	Gcal/h	2,880	2,880	la vîrf
2	Sarcina termică de încălzire	„	2,304	2,304	
3	Sarcina termică de apă caldă de consum	„	0,576	0,576	
4	Sarcina termică acoperită de pompa de căldură	„	1,128	1,440	la vîrf
5	Sarcina termică acoperită de sursa de vîrf	„	1,752	1,440	
6	Debitul de apă-deșeu iarna	m^3/h	215	250	
7	Temperatura apei-deșeu iarna	°C	30	30	
8	Debitul de apă-deșeu vara	m^3/h	125	125	
9	Temperatura apei-deșeu vara	°C	30	30	
10	Numărul de agregate	buc.	2	2	
11	Temperatura de vaporizare	°C	20	20	
12	Temperatura de condensare iarna	„	65,5	56,5	
13	Temperatura de condensare vara	„	55	55	
14	Eficiența medie iarna	—	4,65	5,65	
15	Eficiența medie pe an	—	5,85	5,85	
16	Necesarul total de căldură anual	Gcal/an	9665	9665	Conform curbei
17	Necesarul de căldură pentru încălzire	„	5633	5633	clasate medii
18	Necesarul de căldură pentru apă caldă de consum anual	„	4032	4032	pe țară
19	Consumul orar de energie electrică iarna	kWh/h	343	226	4470 h/an
20	Consumul orar de energie electrică vara	„	343	226	
21	Consumul de combustibil în sistem iarna	t c.c./an	515	395	b^{sistem} = 0,336 g c.c./kWh
22	Consumul de combustibil în sistem vara	„	98	98	
23	Consumul anual de combustibil în sistem	„	613	493	
24	Căldură livrată anual din pompa de căldură	Gcal/an	7590	8085	
25	Căldură livrată anual din sursa de vîrf	„	2075	1580	
26	Căldură livrată anual	„	9665	9665	
27	Consumul anual de combustibil aferent pompei de căldură	t c.c./an	613	495	
28	Consumul anual de combustibil în sursa de vîrf (centrală termică)	„	365	278	b^{CT} = 0,176 t c.c./Gcal
29	Consumul anual de combustibil	„	978	771	
30	Economia de combustibil între variante	„	0	207	
31	Consum de combustibil în soluția clasică de comparare	„	1700	1700	b^{CT} = 0,176 t c.c./Gcal
32	Economia anuală de combustibil față de soluția clasică	„	722	929	

Concluzii

Într-o economie în care conservarea rezervelor de energie primară prin utilizarea lor raţională şi eficientă a devenit obiectivul principal al politicii energetice, pompa de căldură reprezintă un mijloc eficient de recuperare şi valorificare a căldurii-deşeu, de potenţial termic scăzut, considerată pînă de curînd nevalorificabilă.

În toate cazurile în care pompa de căldură este utilizată într-un sistem în care distribuţia căldurii în interiorul clădirilor se face prin intermediul apei calde, trebuie efectuate calcule de optimizare a parametrilor de distribuţie a căldurii (temperaturi şi debite), care să determine consumurile specifice cele mai avantajoase ale pompei de căldură.

Analizele efectuate au arătat că, energetic şi economic, se justifică adoptarea unor niveluri de temperaturi mai reduse decît cele uzuale la instalaţiile clasice, ceea ce implică aplicarea unor procedee perfecţionate de încălzire (corpuri de încălzire de mare randament, încălzire prin pardoseli etc.).

Ca urmare, sistemele de încălzire cu pompe de căldură au o centralizare moderată, cu o reţea de alimentare cu căldură restrînsă ca întindere.

Datorită costului relativ ridicat al pompelor de căldură, care conduce la creşterea investiţiei în sistemele de încălzire cu pompe de căldură comparativ cu sistemele clasice, este necesar un grad înalt de utilizare anuală a pompelor de căldură, care să conducă la o eficienţă economică ridicată.

Ca atare, pompa de căldură trebuie să fie dimensionată corespunzător zonei de bază a curbei clasate anuale a consumului de căldură pentru încălzire şi apă caldă de consum, care are cel mai mare număr de ore de utilizare anual. Pentru acoperirea vîrfurilor de consum, mari ca amplitudine dar cu durate totale anuale reduse, se prevăd surse de vîrf (de obicei cazane de apă caldă instalate într-o centrală termică).

Utilizarea pompei de căldură de 0,7 Gcal/h în sistemele centralizate de încălzire şi preparare a apei calde de consum permite o folosire raţională şi avantajoasă a unei energii valoroase — energia electrică —, pentru a recupera energia termică de potenţial scăzut, considerată practic inutilizabilă, ceea ce conduce la obţinerea unor importante economii de combustibil.

Soluţiile propuse în lucrarea de faţă realizează economii anuale de combustibil de 43—62% faţă de varianta „clasică" (centrala termică), utilizată în prezent acolo unde nu este posibilă termoficarea.

Avînd în vedere necesitatea de mărire a aportului resurselor energetice secundare în balanţa energetică naţională, rezultatele obţinute pînă în prezent şi perspectivele favorabile de dezvoltare a aplicaţiilor pompelor de căldură în procesele de recuperare a căldurii-deşeu cu niveluri moderate de temperaturi în schemele de alimentare cu căldură a clădirilor, se impune ca acest procedeu să capete o arie tot mai largă de aplicare.

Economla de combustibil în tehnica pompelor de căldură

Ing. **T. Berinde,**
prof. dr. ing. **I. Lazăr,**
ing. **R. Resiga***)

1. Factori determinanţi ai economiei de combustibili în tehnica pompelor de căldură

Economia de resurse energetice primare care se obţine prin intermediul pompelor de căldură, în scopul valorificării căldurii mediului ambiant şi a resurselor termice la potenţial scăzut, pentru încălziri spaţiale, în raport cu soluţia de producere a agentului de încălzire în centrale termice, depinde de trei factori esenţiali, şi anume :

— eficienţa tehnică reală (μ_r) a pompei de căldură, care se defineşte ca raport între energia debitată de instalaţia de pompă termică şi energia consumată de ea, ambele fiind exprimate în aceeaşi unitate de măsură a energiei ;

— randamentul de producere şi transport al energiei de la centrala termică (η_{CT}), faţă de care se calculează economia de combustibil, prin înlocuirea acestui sistem de producere a căldurii cu acel al pompei termice, în condiţia obţinerii aceluiaşi efect util la consumatorul de căldură, şi

— randamentul de producere, transformare şi transport al energiei electrice pînă la locul de acţionare a pompei de căldură (η_{sistem}).

Cercetările teoretice şi experimentale efectuate pe plan general, în domeniul tehnicii

*) Ing. Titus Berinde este şeful Inspecţiei teritoriale pentru controlul gospodăririi combustibililor şi energiei Cluj; dr. ing. I. Lazăr este profesor la Institutul politehnic Cluj; R. Resiga este inginer principal în cadrul Inspecţiei teritoriale pentru contolul gospodăririi combustibililor şi energiei Cluj.

pompelor de căldură, atestă că eficienţa tehnică reală (μ_r) depinde, la rîndul ei, de numeroşi alţi factori, dintre care subliniem ca determinanţi :

— temperatura mediului din care se extrage căldura reziduală ;

— temperatura agentului de încălzire căruia i se transferă căldura extrasă ;

— raportul de compresie al vaporilor de agent aspiraţi de către compresorul sau compresoarele instalaţiei (p_2/p_1) ;

— randamentele electrice ale motoarelor de acţionare a compresoarelor, precum şi ale motoarelor de acţionare a pompelor de circulaţie din instalaţie (η_e) ;

— randamentele mecanice ale compresoarelor (η_m) şi randamentele indicate ale ciclurilor de compresie (η_{ind}) ;

— caracteristicile şi proprietăţile termodinamice ale agenţilor interni folosiţi, ca, de exemplu : temperatura normală de fierbere, căldura specifică de vaporizare, coeficientul de compresie adiabatic (c_p/c_v), volumul specific al vaporilor aspiraţi de compresor (v_1), etc. ;

— performanţele constructive ale schimbătoarelor de căldură folosite (vaporizatoare, condensatoare).

2. Dependenţa eficienţei tehnice a pompei de căldură de alura diagramei entropice şi de proprietăţile termodinamice ale agentului

În figura 1 este redată schema de principiu a unei pompe de căldură cu compresie mecanică, iar în figura 2 diagrama entropică a agentului şi ciclul lui. În ambele figuri s-au reprezentat punctele caracteristice : 1, 2, 2′, 3 şi 4 ale ciclului care marchează schimbări de stare ale agentului.

În continuare se asociază diagramei entropice din figura 2 relaţiile de calcul (1) şi (2), care exprimă eficienţa teoretică şi reală a pompei de căldură, de asemenea relaţiile (3) şi (4) pentru ecuaţia de bilanţ energetic pe conturul agentului intern şi relaţia (5), care explicitează energia transmisă agentului prin compresie.

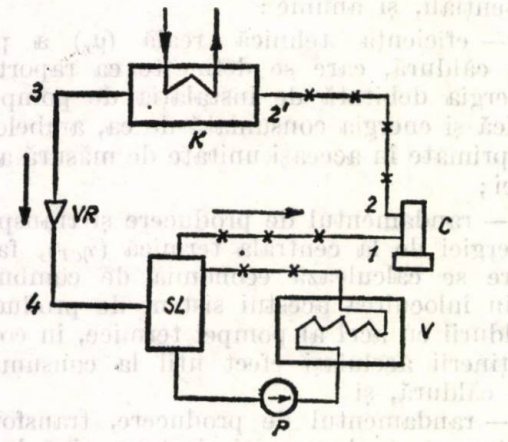


Fig. 1. Schema de principiu a pompei de căldură cu compresie mecanică.

C — compresor ; K — condensator ; VR — ventil de reglare ; SL — separator de lichid ; V — vaporizator ; P — pompă
—— lichid ; —— × —— vapori

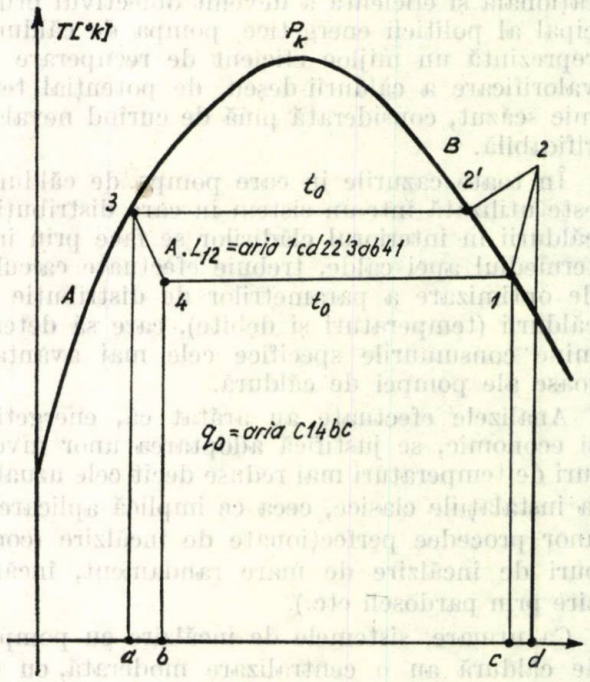


Fig. 2. Diagrama entropică a agentului. Ecuaţia de bilanţ.

P — punct critic ;
AP_k — titlu $x = 0$;
BP_k — titlu $x = 1$;
$q_0 = i_1 - i_4$ [kcal/kg] ;
$q_c = i_2 - i_3$ [kcal/kg] ;
$A\,l_{12} = i_2 - i_1$ [kcal/kg] ;
$q_c = q_0 + A\,l_{12}$ [kcal/kg]

$$\mu_t = \frac{q_c}{A \cdot l_{12}} = \frac{i_2 - i_3}{A \cdot l_{12}} = \frac{q_0 + A \cdot l_{12}}{A \cdot l_{12}} =$$

$$= 1 + \frac{i_1 - i_4}{A \cdot l_{12}} \qquad (1)$$

$$\mu_r = \frac{q_c}{\dfrac{A \cdot l_{12}}{\eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_e} + 860\,\dfrac{P_a}{G}}, \qquad (2)$$

în care

P_a este puterea electrică absorbită de serviciile auxiliare ale instalaţiei (pompe de circulaţie), kW ;

G — debitul orar de agent, kg/h.

Eficienţa tehnică reală se mai poate exprima şi sub forma (2′)

$$\mu_r = \frac{q_c \cdot G}{860(P_c + P_a)}, \qquad (2')$$

în care P_c este puterea electrică consumată de compresor, kW.

Ecuația de bilanț energetic asociată diagramei entropice și conturului circuitului agentului intern al pompei se poate scrie sub formele (3) și (4) :

$$q_c = q_0 + A \cdot l_{12} \text{ [kcal/kg]} \quad (3)$$

$$q = q_0 + \frac{P_c}{G} 860 \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \text{ [kcal/kg]} \quad (4)$$

în care

$$A \cdot l_{12} = \frac{1}{427} P_1 \cdot V_1 \cdot 10^4 \cdot \frac{K}{K-1} \cdot$$

$$\cdot [(P_2/P_1)^{\frac{K-1}{K}} - 1] \text{ [kcal/kg]} \quad (5)$$

$K = c_p/c_v$ reprezintă coeficientul de expansiune adiabatică a agentului intern folosit.

Se remarcă ușor următoarele :

a) Eficiența crește cu creșterea temperaturii de vaporizare a agentului (punctele 4 și 1), deoarece crește căldura specifică (q_0) extrasă din mediu (relația 1 și fig. 2).

b) Eficiența crește cu creșterea căldurii de vaporizare, respectiv cu creșterea deschiderii dintre ramura AP_k din diagrama entropică (fig. 2), care reprezintă curba de titlu $x = 0$, și ramura BP_k din aceeași diagramă, care reprezintă curba de titlu $x = 1$, deoarece și în acest caz crește căldura specifică (q_0) extrasă din mediu (relația 1 și fig. 2).

c) Eficiențe ridicate se pot obține cu agenți având punct critic superior (punctul P_k, de întîlnire a curbelor de titlu $x = 0$ și $x = 1$).

d) Eficiența crește cu scăderea temperaturii de condensare a agentului, deoarece se micșorează consumul de energie transmis prin compresie : Al_{12} (relația 1 și fig. 2).

e) Eficiența crește la scăderea raportului de compresie (p_2/p_1), deoarece se reduce consumul de energie transmis agentului prin compresie : Al_{12} (relațiile 1, 5 și fig. 2).

f) Eficiența crește pentru agenți având coeficientul adiabatic k redus ($k = c_p/c_v$), deoarece se micșorează componenta : Al_{12} (relațiile 1, 5).

3. Calculul economiei procentuale de combustibil

Economia procentuală de combustibil ($E\%$) realizabilă cu o pompă de căldură având eficiența reală (μ_r), în raport cu o centrală termică având randamentul η_{CT}, este dată de relația evidentă :

$$E(\%) = \left[1 - \frac{\eta_{CT}}{\eta_{sist} \cdot \mu_r}\right] \cdot 100, \quad (6)$$

în care η_{sistem} are semnificația menționată la cap. 1.

Înlocuind în relația (6) expresia μ_r din relația (2), se obține relația (7), sub forma :

$$E(\%) = \left[\frac{\eta_{CT} \cdot q_0}{\eta_{sist} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot q_c} - \frac{860 \cdot \eta_{CT} \cdot P_a}{\eta_{sist} \cdot q_c \cdot G} + \right.$$

$$\left. + 1 - \frac{\eta_{CT}}{\eta_{sist} \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \eta_i}\right] \cdot 100 \quad (7)$$

Aceasta se poate particulariza sub o formă practică, operativă, considerînd : $\eta_{CT} = 0{,}85$, $\eta_{sistem} = 0{,}32$ și $\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e = 0{,}65$. În acest caz rezultă :

$$E(\%) = \left[4{,}1 \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_3} - \frac{2284 \cdot P_a}{(i_2 - i_3) G} - 3{,}1\right] \cdot 100 \quad (8)$$

în care

i_1, i_2, i_3 și i_4 reprezintă entalpiile agentului, în punctele 1, 2, 3, și 4 ale diagramei entropice T-s (fig. 2);

P_a[kW] și G[kg/h] au semnificațiile menționate la cap. 2.

Similar, înlocuind în relația (6) expresia μ_r din relația (2'), se obține de asemenea o formulă simplă pentru calculul economiei procentuale de resurse primare, sub forma :

$$E(\%) = \left[1 - \frac{\eta_{CT} \cdot 860 \cdot (P_c + P_a)}{\eta_{sist} \cdot (i_2 - i_3) G}\right] \cdot 100, \quad (9)$$

în care notațiile au semnificațiile cunoscute.

Economia procentuală de combustibil în cazul pompei de căldură cu ejector, folosind ca agent de vaporizare apă în regim de subpresiune, iar ca energie de acționare abur de presiune medie se deduce cu relația :

$$E(\%) = \left[1 - \frac{G_{ab}(i_{1ab} - i_{2ab}) \cdot \eta_{CT1}}{G_{apă}(t_{2a} - t_{1a}) \cdot \eta_{CT2}}\right] \cdot 100, \quad (10)$$

în care

G_{ab}, $G_{apă}$ sînt debite orare de abur și apă, în kg/h, folosite la acționarea ejectorului respectiv pentru evacuarea căldurii din condensator în circuitul de utilizare;

i_{1ab}, i_{2ab} — entalpia aburului de acționare a ejectorului, la intrarea și ieșirea din conturul instalației, în kcal/kg;

t_{1a}, t_{2a} — temperatura apei la intrare și ieșire din condensator (circuitul de utilizare);

η_{CT1} — randamentul de producere și transport al energiei termice, în ipoteza încălzirii consumatorului cu agent produs în centrala termică;

Tabelul 1

Rezultatele experimentale obținute privind eficiența tehnică reală și economia de combustibil în tehnica pompelor de căldură

Specificare	U.M.	Tipul pompei			
		I	II	III	IV
Caracterul rezultatelor obținute (E = experimental, P = proiectat)	—	E	E	E	P
Mediul din care se extrage căldura	—	Aer	Aer	Aer	Apă
Agentul termic secundar căruia i se transferă căldura utilă	—	Aer	Apă	Apă	Apă
Agentul de lucru folosit	—	Freon 12	Apă	Alcool	Butan
Capacitatea calorică proiectată	kcal/h	1200	10000	800	10000
Temperatura sursei de căldură	°C	24	80—90	80—85	10
Temperatura agentului termic la intrare în condensator	°C	25	17,5	20	45
Idem, la ieșirea din condensator	°C	32	55	34	60
Puterea calorică consumată (P)	kW	0,45	—	0,2	3
Debitul caloric consumat pentru acționare (P 860)	kcal/h	371	5770	172	2580
Debitul caloric obținut în circuitul de utilizare (Q_c)	kcal/h	1123	9800	756	10000
Eficiența tehnică reală (Q_c/ P 860)	—	3,0	1,7	4,4	3,9
Randamentul de producere și transport al energiei termice în CT față de care se calculează economia de combustibil	%	85	85	85	85
Randamentul de producere, transport și transformare a energiei electrice la locul de acționare a pompei de căldură	%	32	32	32	32
Economia procentuală de combustibil	%	11	41	39	32

η_{CT_2} — randamentul de producere și transport al aburului de acționare a pompei de căldură cu ejector.

4. Rezultate experimentale obținute

Considerațiile teoretice expuse în capitolele anterioare au fost confirmate de rezultatele experimentale obținute prin încercarea și experimentarea a patru tipuri de pompă de căldură, dintre care trei tipuri de pompe (I, II și III), de capacități mici, avînd caracter didactic-instructiv, fiind proiectate, realizate și experimentate sub îndrumarea autorilor articolului de față.

Tipul IV este de asemenea studiat și proiectat de autori, dar încă neexperimentat.

Rezultatele încercărilor sînt arătate sintetizat în tabelul 1.

Pompele de căldură experimentate (tip I—IV) folosesc ca agenți interni : freon 12 (tip I), apă în regim de subpresiune (tip II) și amestec alcooli (metilic și etilic) avînd $t_{fN} = 76°C$ (tip III). Pompa studiată în curs de realizare (tip IV) folosește ca agent butanul.

Experimentările efectuate confirmă dependența valorii eficienței tehnice reale, și implicit a economiei de resurse energetice primare, de proprietățile termodinamice ale agenților aleși, de potențialul termic al mediilor din care se extrage căldura și de nivelul de temperatură dorit pentru agentul de încălzire din circuitul de utilizare.

Concluzii

1. Pentru realizarea economiei de combustibil prin implementarea pompelor de căldură cu compresie mecanică este necesar ca acestea să asigure o eficiență tehnică reală minimală $\mu_r = 2{,}8$, corespunzătoare randamentelor de referință $\eta_{CT} = 0{,}85$ și $\eta_{sistem} = 0{,}32$.

2. În domeniul valorificării căldurii mediului ambiant pînă la 30°C (aer, ape freatice) și a unor resurse reziduale pînă la 60 °C (ape termale și uzinale), utilizarea butanului în tehnica pompelor de căldură conduce la *o economie de combustibil dublă* în raport cu freonul 12.

În acest domeniu, se poate obține, prin intermediul butanului, în circuitul de utilizare a instalației, apă caldă la temperaturi cuprinse între 60 și 80°C, circuitul intern al agentului (butanul) aflîndu-se în regim de suprapresiune. Această particularitate de regim înlătură pătrunderea aerului prin neetanșeități în instalație și reduce gradul de periculozitate.

De asemenea, în acest domeniu butanul necesită rapoarte de compresie mici și presiuni de refulare inferioare celor corespunzătoare freonului 12.

3. În domeniul valorificării căldurii radiate în medii (aflate la temperaturi peste 70°C) de linii de laminare, depozite de produse incandescente, cuptoare de clincher etc., pompele de căldură cu apă în regim de subpresiune și cu alcooli conduc la o economie procentuală de resurse primare de circa 40%.

Secția 2

Raport general

Utilizarea combinată și integrată a resurselor energetice primare și secundare

Raportor general: prof. doc. ing. **Nicolae Dănilă** (Institutul politehnic București)

Corespunzător tematicii indicate în Programul general al celei de-a IX-a Conferințe Internaționale de Energetică Industrială, în secția a 2-a au fost primite 14 rapoarte.

Energetica marilor platforme industriale a fost abordată cu succes atît la conferințele internaționale de energetică industrială precedente, cît și la alte întîlniri ale specialiștilor energeticieni, cum ar fi cele ocazionate de Conferința Mondială a Energiei, de simpozioanele CEE-ONU etc. Considerăm însă de la bun început că prin nivelul tehnic și științific ridicat, actualele rapoarte nu numai că vin să confirme încă o dată importanța utilizării complexe a energiei în procesele industriale, dar aduc o serie de idei și soluționări noi problemelor energetice specifice acestora, inclusiv acelora ce își au originea în evoluțiile recente ale economiei mondiale.

Tratarea amplă, specifică multora dintre rapoartele secției, face ca, în locul unei clasificări a acestora pe subsecții, să apară mai indicată o parcurgere succesivă a principalelor idei prezentate de către autori.

1. Producerea combinată a energiei electrice și a căldurii

Atît numeric cît și prin gradul de detaliere, rapoartele consacrate producerii combinate a energiei electrice și a căldurii confirmă ponderea deosebită a acestei direcții de utilizare combinată a resurselor energetice primare și secundare.

O serie de date statistice conținute în rapoarte arată deopotrivă dezvoltarea rapidă a centralelor de termoficare cît și rezultatele economice bune obținute. Indicatorii tehnico-economici folosiți pentru a evidenția cele de mai sus sînt citați în măsura în care autorii i-au considerat mai semnificativi. Astfel, în România, la nivelul anului 1977, consumul de căldură acoperit din centrale electrice de termoficare a fost de 298 000 TJ/an. Puterea instalată în aceste centrale a ajuns la 3770 MW, din care circa 68 % în grupuri de termoficare industrială (raportul 2.1 — R.S.R.). În Ungaria, la nivelul anului 1975, căldura livrată din centralele electrice de termoficare a ajuns la 80 450 TJ/an. Energia electrică generată în grupuri de termoficare a fost de 3612 GWh/an, din care 60 % în regim de contrapresiune (raportul 2.3 — R.P.U.)

În exemplele de mai sus, diferențierile apar și în ceea ce privește eficiența economică a centralelor electrice de termoficare. Astfel, în România, corespunzător aceluiași an de referință — 1977 — se menționează o economie de combustibil realizată față de producerea separată a căldurii și energiei electrice de circa 2,7 mil. t cc, din care circa 78 % revine termoficării industriale. Cu toate că economia de combustibil realizată constituie un indicator sintetic foarte sugestiv, se apreciază ca fiind interesantă utilizarea complementară a indicelui de termoficare mediu anual (raportul dintre energia electrică produsă în regim de contrapresiune și căldura livrată), indice exemplificat în raportul 2.3 (R.P.U.). Cu toate dificultățile de calcul aferente acestui indice, studiul său comparativ pe grupe de centrale de termoficare permite o apreciere mai completă a măsurii în care centralele de termoficare industriale sînt exploatate economic.

În afara datelor statistice la nivelul economiei naționale, rapoartele menționate exemplifică concepția unor sisteme de termoficare alimentînd mari platforme industriale și, alăturat acestora, concentrări urbane.

Astfel, raportul 2.1 (R.S.R.) prezintă două sisteme de termoficare :

— cel din zona Ploiești-sud — Brazi, alimentat din Centrala electrică de termoficare Brazi. Baza consumului de căldură pentru această centrală este reprezentată de rafinăriile de petrol din zonă și de Combinatul petrochimic Ploiești. Ulterior consumul de căldură a crescut prin preluarea în regim de termoficare a consumatorilor urbani din orașul Ploiești și a unui mare complex de sere legumicole. Echipată cu grupuri de termoficare cu parametri ridicați ai aburului viu (13,7 MPa și 550 °C), centrala are o putere instalată de 460 MW ;

— sistemul de termoficare al orașului București, avînd o pondere mai mare a consumului de căldură urban, a soluționat acoperirea consumului de abur tehnologic în principal prin realizarea unor centrale locale de termoficare, echipate cu grupuri de contrapresiune de 4 și 6 MW, totalizînd o putere instalată de 36 MW. Alături de aceste centrale mici, mai participă la acoperirea consumului de abur industrial și Centrala electrică de termoficare București-sud, la care primele două grupuri de termoficare (avînd o putere de 50 MW fiecare) sînt prevăzute și cu prize reglabile pentru prelevare de abur de medie presiune.

În ceea ce privește sistemul de termoficare al orașului București, este interesant de citat raportul 2.12, care prezintă unele rezultate ale unui studiu mai amplu privind bilanțul energetic general al Municipiului București.

Raportul 2.3 (R.P.U.) exemplifică tendințele manifestate în R.P. Ungară în privința termoficării industriale prin cazul centralei electrice de termoficare a Combinatului metalurgic Dunaujváros. Construită la începutul deceniului al 6-lea, centrala electrică de termoficare a avut inițial un debit de abur instalat în cazane de 500 t/h la parametrii 3,7 MPa, 450°C.

Prin înlocuirea unei turbine de condensație cu una de termoficare de 20 MW și extinderea cu un cazan de abur de 200 t/h și un cazan de apă fierbinte de 43 MW, centrala electrică de termoficare poate acoperi un consum de căldură de 480 MW. Din acest consum, 70% revine aburului tehnologic la 0,6 și 1,8 MPa.

Rapoartele 2.3 (R.P.U.). și 2.10 (R.S.C.) au pus în evidență tendința ca în deceniul următor, în orașele cu platforme industriale, consumul de căldură urban să crească mai repede decît consumul de căldură industrial. Acest fapt poate avea consecințe importante în ceea ce privește concepția centralelor de termoficare industriale, în măsura în care centralele termice de încălzire urbană nu-și vor îmbunătăți randamentele medii anuale și indicii economici (investiții specifice și cheltuieli de exploatare). Ca urmare, prezintă un interes deosebit analiza privind rezultatele de exploatare a peste 1500 centrale termice locale de încălzire urbană din regiunea Slovaciei de Vest (raportul 2.10).

Un alt grup de probleme se referă la condițiile tehnice și economice limită de la care se poate porni pentru realizarea unei centrale electrice de termoficare industrială.

În acest sens, mărimea și natura consumului de căldură ce urmează a fi acoperit reprezintă un factor de bază. Raportul 2.8 (R.D.G.) a ilustrat numeric dependența limitei inferioare a unui consum de căldură sub formă de abur de 0,6 MPa la care devine economică realizarea unei centrale electrice de termoficare în funcție de durata de utilizare anuală a debitului maxim orar. De exemplu, în condițiile economice existente în R. D. Germană în anul 1974, se considera indicată realizarea unei centrale electrice de termoficare în condițiile unui consum de abur de 210 t/h la o durată de utilizare anuală de 4000 h/an. Creșterea prețurilor la purtătorii de energie a făcut ca pe parcursul a doi ani debitul limită de abur să se reducă la 170 t/h, iar pînă în 1995 se întrevede realizarea de centrale electrice de termoficare industrială pentru consumuri de abur mai mari de 90 t/h.

O tratare interesantă a consumului limită de căldură de la care devine rentabilă o centrală electrică de termoficare industrială se prezintă și în raportul 2.5 (R.P.P.). În acest caz, în afară de influența favorabilă a creșterii duratei de utilizare anuală a consumului de abur, se dă preferință unei structuri a consumului în care încălzirea urbană sau a clădirilor industriale să aibă o pondere mai redusă, ceea ce într-un fel este în contradicție cu tendința de evoluție a consumului, semnalată mai sus.

Al doilea factor în ordinea importanței pentru aprecierea oportunității realizării unor centrale electrice de termoficare industrială îl reprezintă tipul și prețul combustibilului. Este evident imperativul de a utiliza pe scară cît mai largă resursele energetice secundare (rapoartele 2.3 — R.P.U. și 2.4 — R.D.G.) și combustibilul solid. În acest sens, de exemplu pentru condițiile din România, se pune problema ca pentru viitor centralele electrice de termoficare să se construiască exclusiv pe lignit din țară. Evidențiind dificultățile legate de stabilirea unui preț exact al combustibililor, raportul 2.5 (R.P.P.) arată, pe baza unei examinări parametrice, că o creștere a prețului combustibilului face rentabilă realizarea de centrale electrice de termoficare chiar în condiții mai puțin favorabile de consum de căldură. La rîndul său, raportul 2.8 (R.D.G.) subliniază că, deoarece cheltuielile legate de extragerea purtătorilor de energie primară vor continua să crească, limitele de la care devine economică o centrală electrică de termoficare vor continua să scadă.

Al treilea factor în ordinea importanței îl constituie raporturile ce se stabilesc între centrala electrică de termoficare și sistemul electroenergetic. Un tarif necorespunzător pentru energia electrică vîndută de o centrală electrică de termoficare către sistemul electroenergetic poate deveni o frînă în dezvoltarea termoficării industriale, așa cum se menționează în raportul 2.3 (R.P.U.).

În sfîrșit, studiul oportunității realizării unei centrale electrice de termoficare industrială este strîns legat de profilul optim al centralei. În acest sens, rapoartele 2.1 (R.S.R.) și 2.5 (R.P.P.) analizează criteriile de alegere a parametrilor aburului viu, a numărului de cazane din centrală și a repartiției sarcinii pe echipamente de bază și de vîrf. Rapoartele 2.8 și 2.9 (R.D.G.) tratează unele aspecte legate de presiunea de livrare a aburului către consumatorii industriali, cum ar fi prevederea de acumulatoare de abur, alegerea tipului de turbină într-o concepție modulară etc. Legat de profilul centralelor electrice de termoficare industrială, se menționează și raportul 2.2 (R.S.R.), care tratează influența criteriilor de siguranță în alegerea schemelor de insularizare

a centralelor electrice de termoficare pe un consum industrial. Aspecte legate de siguranța în exploatarea centralelor electrice de termoficare industrială mai sînt menționate în rapoartele 2.1 (R.S.R.) și 2.5 (R.P.P.).

2. Gruparea diferitelor procese tehnologice de pe platformă în vederea creării unui lanț de utilizări ale energiei

Așa cum se subliniază și în raportul 2.5 (R.P.P.), industria chimică rămîne unul dintre cei mai mari consumatori industriali de energie. În același timp, industria chimică rămîne și o sursă majoră de resurse energetice secundare, a căror utilizare se poate face fie în afara procesului tehnologic, dar mai ales în cadrul însuși al industriei chimice respective (raportul 2.4 — R.D.G.). În acest scop, raportul 2.11 (R.S.R.) indică următoarele direcții de analiză :

— valorificarea gazelor reziduale combustibile ;

— recuperarea fracțiilor oxicarbonice de la fabricile de amoniac și carbid ;

— valorificarea hidrogenului excedentar de la electrolize, instalații de hidrogenare fenol sau purje de la fabricile de amoniac ;

— valorificarea căldurii condensatului și a aburului secundar, rezultate din instalațiile tehnologice.

Analiza se diferențiază în mod natural după tipul platformei industriale, în cazul exemplificat al României clasificarea fiind după cum urmează :

— platforme de chimizare a petrolului (de exemplu Midia, Pitești, Brazi, Borzești) ;

— platforme de chimizare a gazului metan (de exemplu Craiova, Săvinești, Tg. Mureș) ;

— platforme de chimizare a sării sau calcarului pentru produse anorganice energo-intensive (de exemplu Tîrnăveni, Govora, Ocna-Mureș, Borzești).

Utilizarea calculatoarelor electronice este indispensabilă în efectuarea unor astfel de analize, fie că este vorba de faza proiectării unor instalații, fie de activitatea de dispecer a unei platforme industriale.

Raportul 2.11 (R.S.R.) conține mai multe exemple de realizări obținute în acest domeniu, dintre care se menționează :

— platforma Işalnița-Craiova, în cadrul căreia se realizează chimizarea gazelor naturale pentru a obține îngrășăminte chimice complexe și totodată o gamă de produse chimice organice pe bază de acetilenă. Această cuplare a industriei îngrășămintelor chimice cu ingineria acetulurii a permis valorificarea complexă a tuturor resurselor energetice secundare pentru obținerea frigului și aburului tehnologic ;

— platformele Rm. Vîlcea și Borzești, care reprezintă cuplarea proceselor petrochimice cu procese de valorificare a sării pentru a se obține întreaga gamă de pesticide și produse sodice în condițiile create de existența unei centrale electrice de termoficare care deservește o rafinărie sau o uzină de sodă amoniacală.

Raționalizări ale anumitor procese tehnologice sînt menționate și în cazul unei platforme aparținînd industriei metalurgice (raportul 2.3 — R.P.U.). În cest caz apar resurse energetice secundare , în special sub forma gazului de furnal, care sînt valorificate prin intermediul unor cazane recuperatoare

★

Prezentarea succintă a rapoartelor Secției a 2-a este menită să constituie în sine o orientare pentru participanții la lucrările secției, care prin intervenții pregătite sau spontane doresc să trateze subiecte legate de utilizarea combinată și integrată a resurselor energetice primare și secundare. Față de cele de mai sus se indică un număr de subiecte mai puțin dezvoltate în rapoartele prezentate, oportun a face obiectul intervențiilor, cum ar fi :

— combinarea și integrarea resurselor energetice, însoțite de organizarea adecvată a fluxului tehnologic în scopul reducerii consumurilor ;

— problemele ce apar în cazul utilizării combinate a resurselor energetice prin centrale electrice de termoficare și instalații de pompe de căldură ;

— eventuala grupare a unor industrii diferite pe platforme mari în vederea transferării resurselor energetice secundare dintr-un proces către acea activitate industrială care oferă cea mai eficientă cale de valorificare.

Influența criteriilor de siguranță în alegerea schemelor de insularizare a centralelor electrice de termoficare pe un consum industrial

Prof. dr. doc. ing. **V. I. Nitu**
Ing. **M. Stein**
Matem. **St. Diaconu**
Ing. **G. Popescu***)

Marile platforme industriale, în special ale industriei chimice și metalurgice, sînt și mari consumatori de energie electrică și termică.

Alimentarea cu energie electrică se realizează prin racordarea platformelor la rețelele sistemului energetic național, iar alimentarea cu energie termică se face din surse locale instalate fie direct pe platformă, fie în apropierea acesteia. În cazul unor consumuri importante de căldură sub formă de abur și apă caldă, aceste surse se realizează sub forma unor centrale electrice de termoficare echipate cu grupuri turbogeneratoare de condensație și prize sau de contrapresiune.

Puterile unitare ale grupurilor instalate variază între 3 MW și 150 MW, această ultimă valoare fiind caracteristică pentru consumuri mari de apă caldă, grupurile fiind destinate termoficării urbane. Puterile unitare cele mai frecvent întîlnite pînă în prezent pe platformele industriale importante sînt cuprinse între 25 și 100 MW. Centralele electrice de termoficare cu asemenea grupuri sînt echipate cu un număr de 2—4 grupuri, dar sînt și unele cazuri cînd numărul lor crește pînă la 6.

Pentru consumatori industriali mai mici se instalează centrale electrice de termoficare cu grupuri de 3, 4, 6 sau maximum 12 MW.

Alimentarea cu energie electrică a *marilor platforme* se realizează așa cum s-a arătat, din sistemul energetic, iar în cazul în care pe platforma industrială sau în apropierea ei se găsește o centrală (CET), schema de alimentare din sistem este bineînțeles influențată de acest fapt.

Schemele principale de alimentare realizate, sau în curs de realizare pentru asemenea cazuri, pot fi împărțite în categoriile arătate în figurile 1, 2, 3.

Din figurile 2 și 3 rezultă că aceste centrale nu sînt concepute în mod special pentru a servi

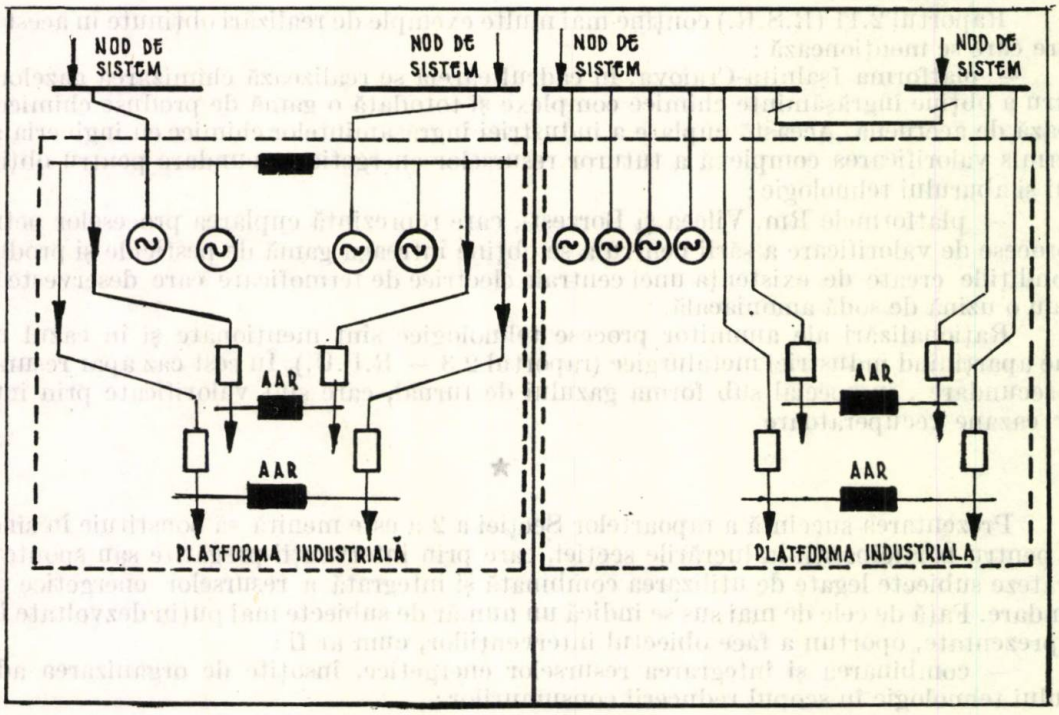


Fig. 1

Fig. 2

Din punctul de vedere al disponibilităților de energie electrică, aceste centrale pot fi excedentare sau deficitare, în raport cu consumurile locale.

ca centrale de siguranță pentru anumite receptoare deosebit de importante de energie electrică, a căror întrerupere ar conduce la consecințe deosebit de grave, dar ele pot servi ca surse de rezervă pentru consumul local, în cazul unor avarii extinse în sistem, îmbunătățind considerabil siguranța în alimentarea platformelor (fără a se putea substitui surselor nece-

*) Prof. dr. doc. ing. Vasile I. Nitu este director tehnic al ISPE; Manfred Stein este inginer principal I; St. Diaconu este matematician la ISPE; Gabriel Popescu este inginer principal II în cadrul CIPEET.

sare pentru alimentarea unor tipuri de receptoare ca cele amintite anterior).

Pentru a asigura funcţionarea ca sursă de rezervă în cazul avariilor extinse de sistem, aceste centrale (sau acea parte din grupuri care

Se va considera că schimbul de putere cu sistemul energetic al diferitelor insule potenţiale de producţie şi consum de energie este mic ($\Delta N \sim 0$) şi în orice caz slab excedentar spre sistem [1].

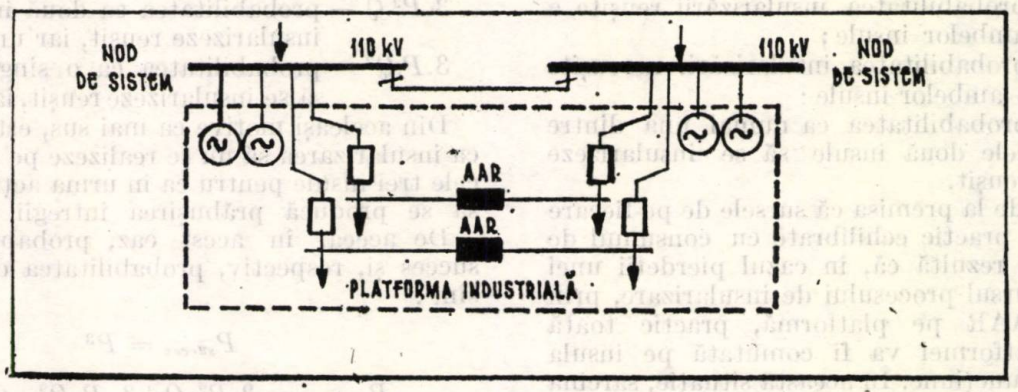


Fig. 3

acoperă consumul local) trebuie să rămînă în funcţiune la asemenea evenimente, adică să se *„insularizeze"* pe acest consum şi să-şi continue *„funcţionarea insulară"*.

1. Variante de insularizare

Insularizarea centralelor electrice din apropierea unor mari centre de consum este deci, fără îndoială, o măsură care măreşte siguranţa în alimentare a marilor consumatori.

Alegerea soluţiei optime pentru realizarea insularizării nu este însă o problemă simplă, deoarece pot apărea unele contradicţii între favorizarea condiţiilor pentru o insularizare reuşită şi neafectarea siguranţei schemelor de funcţionare — atît în centrală cît şi de alimentare a consumatorilor — în *regim normal de funcţionare*. Acest regim de funcţionare este de fapt regimul de durată, insularizarea fiind necesară numai în cazurile relativ rare ale unor avarii extinse în sistem.

Pe de altă parte, este foarte greu să se propună reţete general valabile, dat fiind multiplele particularităţi pe care le prezintă fiecare platformă consumatoare în parte, particularităţi determinate de o multitudine de factori, şi în primul rînd de condiţiile impuse de diferitele procese tehnologice sau echipamente receptoare de energie.

Unele soluţionări generale pot fi însă analizate şi cu ajutorul metodelor utilizate în calculele de siguranţă.

Pentru a evita erorile de interpretare sau particularizarea unor concluzii, se vor utiliza relaţii de calcul sub formă literală, atribuirea unor valori pentru parametrii de calcul făcîndu-se numai cu titlu de exemplificare.

Soluţiile analizate vor fi numai soluţii de principiu.

1.1. *Schema de insularizare cu realizarea a două insule*

Fie schema de alimentare a unei platforme aşa cum este prezentată în figura 4.

Fie de asemenea P — probabilitatea de insularizare reuşită şi Q — probabilitatea de insularizare nereuşită a unei insule.

Se ştie că:

$$(P + Q)^n = 1$$

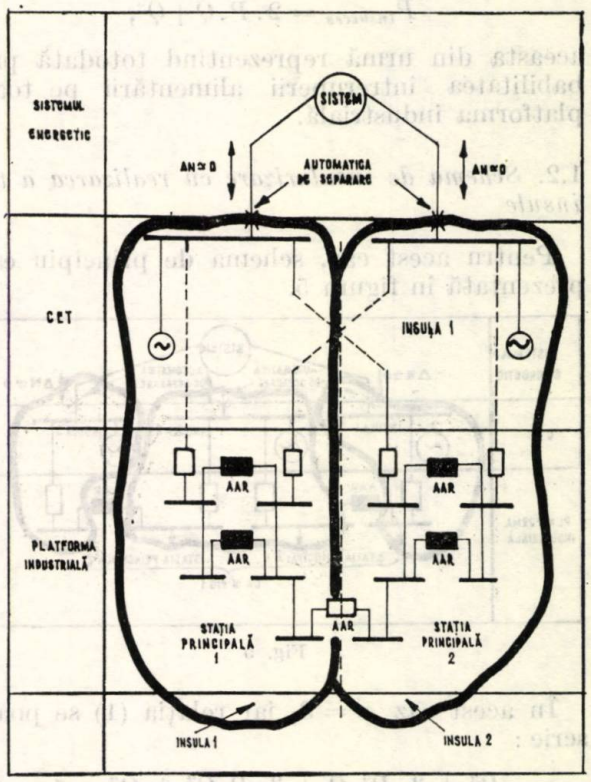


Fig. 4

În cazul a două insule, ca în figura 1, $n=2$, și deci :

$$P^2 + 2.P.Q + Q^2 = 1, \qquad (2)$$

unde :

P^2 este probabilitatea insularizării reușite a ambelor insule ;

Q^2 — probabilitatea insularizării nereușite a ambelor insule :

$2.P.Q$ — probabilitatea ca numai una dintre cele două insule să se insularizeze reușit.

Pornind de la premisa că sursele de pe fiecare insulă sînt practic echilibrate cu consumul de pe acestea, rezultă că, în cazul pierderii unei insule în cursul procesului de insularizare, prin acțiunea AAR pe platformă, practic toată sarcina platformei va fi comutată pe insula rămasă în funcțiune. În această situație, sarcina pe grupurile insularizate reușit va crește cu circa 100 % față de puterea disponibilă în insula rămasă în funcțiune, sau în orice caz va produce un șoc mare de putere pe insulă, ceea ce va avea ca urmare prăbușirea și a acestei insule. În consecință, în relația (2), stările avînd probabilitățile $2.P.Q$ și respectiv Q^2 reprezintă stări de insucces pentru rămînerea platformei în funcțiune.

Deci probabilitatea de succes și probabilitatea de insucces în această schemă de insularizare vor fi :

$$P_{succes} = P^2 \qquad (3)$$

și respectiv

$$P_{insucces} = 2.P.Q + Q^2,$$

aceasta din urmă reprezentînd totodată probabilitatea întreruperii alimentării pe toată platforma industrială.

1.2. *Schema de insularizare cu realizarea a trei insule*

Pentru acest caz, schema de principiu este prezentată în figura 5.

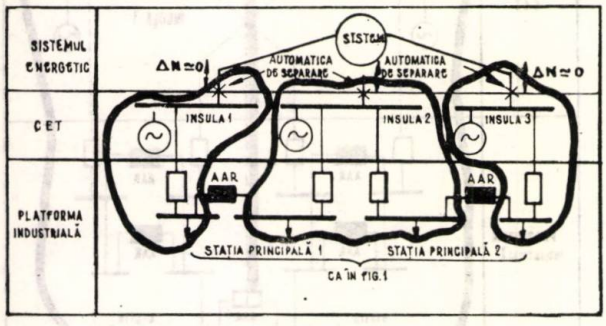


Fig. 5

În acest caz $n = 3$, iar relația (1) se poate scrie :

$$P^3 + 3.P^2.Q + 3.P.Q^2 + Q^3 = 1 \qquad (4)$$

unde

P^3 este probabilitatea insularizării reușite a tuturor celor trei insule ;

Q^3 — probabilitatea insularizării nereușite a tuturor celor trei insule ;

$3.P^2.Q$ — probabilitatea ca două insule să se insularizeze reușit, iar una nu ;

$3.P.Q^2$ — probabilitatea ca o singură insulă să se insularizeze reușit, iar două nu.

Din aceleași motive ca mai sus, este suficient ca insularizarea să nu se realizeze pe oricare din cele trei insule pentru ca în urma acțiunii AAR să se producă prăbușirea întregii platforme.

De aceea, în acest caz, probabilitatea de succes și, respectiv, probabilitatea de insucces sînt :

$$P_{succes} = P^3$$

$$P_{insucces} = 3.P^2.Q + 3.P.Q^2 + Q^3 \qquad (5)$$

Deoarece, conform premiselor avute în vedere, toate stările, cu excepția primei stări, a cărei probabilitate este egală cu P^n, reprezintă stări de insucces, rezultă evident că, odată cu creșterea numărului n al insulelor, probabilitățile de succes (de menținere a alimentării platformei) scad, dat fiind că P este o valoare subunitară.

Această concluzie este interesantă, deoarece este valabilă independent de valoarea probabilităților P și Q, care, deocamdată nu pot fi încă estimate corect.

1.3. *Schema de insularizare cu o singură insulă*

În acest caz, schema de principiu este prezentată în figura 6.

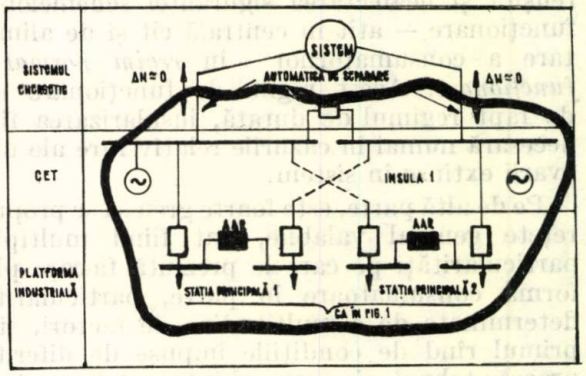


Fig 6.

Avînd în vedere că în acest caz $n = 1$, relația (1) devine :

$$P + Q = 1,$$

iar probabilitatea de succes, respectiv de insucces, va fi :

$$P_{succes} = P$$

$$P_{insucces} = Q$$

Conform celor arătate la punctul precedent, rezultă că soluţia cu o singură insulă este soluţia cea mai sigură ($P > P^n$; $n > 1$).

Pentru exemplificare, în tabelul 1 se sintetizează rezultatele obţinute în urma parametrizării valori lui P cu : $P = 0{,}95$; $0{,}90$ şi $0{,}85$.

Tabelul 1

Nr. de insule	Valoare pentru P	Probabilitatea de succes a insularizării		Probabilitatea de insucces a insularizării	
		Relaţia	Valoarea	Relaţia	Valoarea
1	0,95		0,95		0,05
	0,90	P	0,90	$1-P$	0,10
	0,85		0,85		0,15
2	0,95		0,89		0,11
	0,90	P^2	0,81	$1-P^2$	0,19
	0,85		0,72		0,28
3	0,95		0,84		0,16
	0,90	P^3	0,73	$1-P^3$	0,27
	0,85		0,61		0,39
4	0,95		0,80		0,20
	0,90	P^4	0,66	$1-P^4$	0,34
	0,85		0,52		0,48

În legătură cu probabilităţile de insularizare reuşită, este de făcut observaţia că, cu cît pentru un anumit număr total de grupuri insularizabile se creează mai multe insule, cu atît în fiecare insulă rămîn în funcţionare paralelă şi insularizată mai puţine grupuri — la limită numai unul singur.

Acest aspect poate avea unele influenţe asupra valorii probabilităţilor de insularizare reuşită, P, în sensul că valoarea acestei probabilităţi poate scădea odată cu creşterea numărului grupurilor în aceeaşi insulă, dat fiind efectul perturbator pe care poate să-l aibă,de exemplu, nefuncţionarea corectă a regulatoarelor grupurilor rămase a funcţiona în paralel. (Dacă însă perturbaţia produsă la insularizare, respectiv şocul de putere $\pm \Delta N$ ce se produce pe grupurile din insulă, este mic în raport cu puterea disponibilă, atunci acest risc suplimentar poate fi considerat redus în situaţia în care se dispune de regulatoare bune şi bine ajustate.)

Rezultă deci că insularizarea tuturor grupurilor într-o singură insulă poate afecta şi negativ probabilitatea de succes a insularizării.

Din analiza datelor din tabelul 1 rezultă însă că se poate admite chiar o scădere considerabilă a probabilităţii de insularizare reuşită P pentru o singură insulă (cu mai multe grupuri), de exemplu $P = 0{,}85$, fără ca aceasta să dezavantajeze această soluţie în raport cu soluţia cu trei insule, pentru care, deşi probabilitatea de succes pentru fiecare insulă este mare (de exemplu 0,95), probabilitatea de insularizare reuşită a tuturor celor trei insule rezultă ca fiind mică ($<0{,}85$) pentru acelaşi exemplu (valorile încadrate în tabelul 1).

Bineînţeles că, în anumite condiţii particulare, pot apărea cazuri în care din condiţiile de comportare a unor grupuri, soluţia care prevede menţinerea lor în paralel după insularizare să fie foarte riscantă.

Din cele arătate ar rezulta că soluţia cea mai favorabilă insularizării este soluţia cu o singură insulă pentru tot consumul şi pentru toate sursele locale. Cu toate că realizarea numai a unei singure insule este şi foarte avantajoasă pentru consumatori, apare însă contradicţia, semnalată la început, între soluţia optimă pentru insularizare şi regimul optim de funcţionare pentru siguranţă în regim normal.

Într-adevăr, dacă se realizează o singură insulă, nu va putea fi evitată soluţia realizării unei reţele unice, neseparate, de alimentare a consumatorilor împreună cu toate sursele de alimentare, cu încălcarea principiului de alimentare separată din cel puţin două secţii de bare nelegate între ele la tensiunea de distribuţie (fig. 6).

Dezavantajele unei asemenea funcţionări sînt cunoscute în special în cazul consumatorilor sensibili la goluri sau variaţii de tensiune, dat fiind că orice defect în reţeaua de alimentare (sau exterioară, dar la aceeaşi tensiune cu aceasta) afectează întreaga reţea. Pentru a se reduce efectul acestor evenimente, se poate concepe o schemă de insularizare în care să se realizeze o insulă la nivelul unei tensiuni superioare celei de distribuţie (de exemplu la nivelul tensiunii de 220 kV în cazul distribuţiei la 110 kV), în care principiul alimentării separate este respectat. Cu toate că o asemenea soluţie nu trebuie exclusă, ea prezintă însă dezavantajul că, după insularizare, funcţionarea în paralel a grupurilor din insulă se realizează prin intermediul unor reactanţe însemnate (între reţeaua de 110 şi 220 kV), iar pe de altă parte se pot introduce restricţii în schema de funcţionare a reţelelor de 220 kV, fapt care poate influenţa siguranţa acestora, cu consecinţe nedorite pentru funcţionarea sistemului energetic.

O altă variantă de îmbunătăţire considerabilă a soluţiilor, astfel încît să se realizeze şanse cît mai bune de insularizare, fără afectarea siguranţei schemelor în funcţionare normală, constă în realizarea blocajului schemelor AAR în cazul insularizării. În acest caz, insularizarea nereuşită a uneia dintre insule nu antrenează pierderea celorlalte şi, conform relaţiilor (3) şi (4), probabilitatea de succes creşte.

Acest blocaj poate fi realizat relativ uşor, în scheme cu puţine instalaţii AAR sau în scheme în care se blochează numai acele AAR care comută sarcini importante. Blocarea se poate face fie prin impuls emis chiar de către automatica de separare cu transmiterea prin cabluri-pilot, fie prin relee de frecvenţă instalate local,

în punctele de acționare a AAR, care, la o frecvență superioară celei de insularizare, comandă blocarea AAR. Dacă există însă multe instalații AAR ce urmează a fi blocate sau dacă ele sînt răspîndite pe un teritoriu mare, ambele aceste soluții pot fi greoaie și scumpe.

Din discuția făcută rezultă că soluția ideală de insularizare este deci cea care prevede :

a) o singură insulă ; b) pe aceeași insulă să debiteze pe cît posibil un singur grup pe o sarcină echilibrată cu puterea acestuia (pentru a se evita riscurile funcționării în paralel după insularizare) ; această sarcină să fie prevăzută cu blocajul AAR în cazul insularizării ; d) siguranța rețelelor de alimentare a platformei să nu fie afectată în regim normal de funcționare ; e) grupul de pe această insulă să fie interșanjabil cu alte grupuri în cazul indisponibilității acestuia.

Ca orice soluție ideală, aceasta nu va putea fi realizată în multe cazuri în practică (dat fiind că nu satisface necesitatea insularizării consumului de pe platfromă), dar se pot lua măsuri de apropiere, urmărindu-se totodată și necesitatea asigurării condițiilor pentru alimentarea întregii platforme în caz de insularizare.

Aceste măsuri ar consta în aceea că, în condițiile inexistenței unor restricții în alegerea soluțiilor, atît pentru schema CET cît și pentru rețelele consumatorului :

a) să se realizeze o singură insulă „ideală", conform celor arătate, pentru o sarcină parțială a platformei ;

b) să se realizeze totodată, pentru aceeași platformă, o soluție corespunzătoare pentru insularizarea restului de consum de pe platformă, într-una din variantele de mai sus.

O astfel de schemă, în condițiile inexistenței unor restricții locale, ar putea avea configurația de principiu din figura 4, adaptată și detaliată așa cum este arătat în figura 7, în care *numai în stațiile consumatorului care sînt alimentate în insula „ideală"*, AAR este blocat de automatică (adică numai un număr relativ redus de astfel de automatici).

Comanda de insularizare pentru această insulă, dacă este bine echilibrată din punct de vedere producție-consum ($\Delta N_1 \rightarrow 0$), se poate emite, fără consecințe pentru consumator sau sistem, eventual și la o frecvență superioară față de restul consumului platformei (de exemplu la 48 Hz față de 47,5 Hz), astfel încît și din acest punct de vedere să i se realizeze condiții mai favorabile. Se obține astfel o șansă foarte mare ca în ultimă instanță (chiar în cazul nereușitei insularizării restului consumului), cel puțin o parte a acestuia să fie alimentat în continuare și cel puțin un grup din centrală să rămînă în funcțiune, ceea ce este deosebit de important pentru cazul avariilor grave extinse în sistem.

Se vede că, în această schemă, siguranța în funcționare în schemă normală nu este afectată, dar trebuie menționat că pentru insula „ideală" este necesară asigurarea unei secții de bare separate în schema de conexiuni.

Din cele arătate se desprinde faptul că există soluții, în special pentru noile platforme, în care șansele pentru realizarea insularizării să fie maxime. Este însă neapărat necesară asigurarea participării și a conlucrării strînse cu factorii care concep instalațiile furnizoare și consumatoare de energie electrică și de abur.

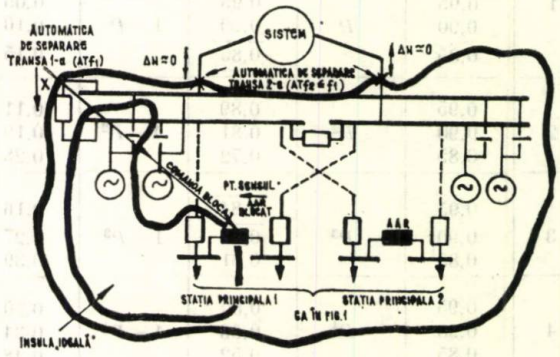


Fig. 7

Pentru instalațiile existente, soluțiile trebuie să se apropie, în măsura posibilităților existente, în fiecare caz în parte, de soluțiile avute în vedere.

În cazul în care, într-adevăr, o asemenea insulă sigură poate fi realizată, deci pentru care se va urmări în mod special și un echilibru permanent din punctul de vedere al puterii produse și consumate (în condiția încărcării corespunzătoare a grupurilor), atunci o mărire considerabilă a siguranței în alimentarea unor platforme foarte importante se poate obține și prin *scoaterea voită, preventivă a grupurilor din această insulă*, în funcționare insulară, pe durate limitate, de ordinul orelor, în cazul în care sînt anunțate fenomene ale naturii (viscol puternic, furtuni, descărcări atmosferice intense etc.), în vederea asigurării continuității alimentării unor receptoare foarte importante ale platformei, pentru cazul în care aceste fenomene ar afecta un număr considerabil de legături cu sistemul, cu consecințe potențiale importante asupra condițiilor de bună funcționare a celorlalte grupuri din centrală.

În sfîrșit, se pot avea în vedere în instalațiile noi și soluții în care unele din grupurile de termoficare debitează la tensiunea generatoarelor pe rețeaua consumatorilor de pe platformă, creîndu-se pentru aceștia insule în condiții ideale, iar alte grupuri, care ar reprezenta excedentul de putere în raport cu platforma, să fie racordate la sistem la o tensiune superioară (fig. 8).

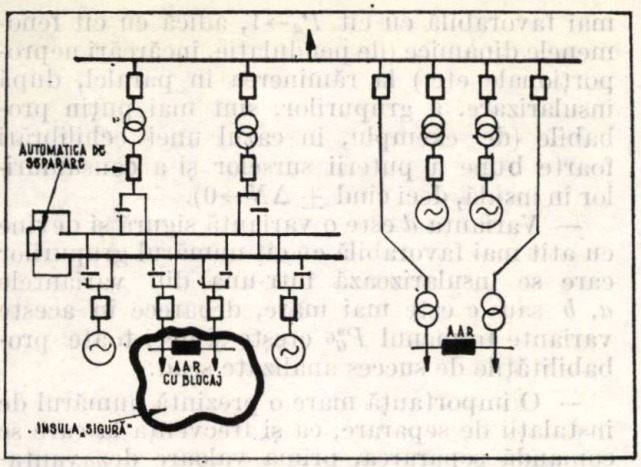


Fig. 8

2. Analiza şanselor de insularizare ţinînd seama de factorii principali care le determină

În vederea obţinerii unor informaţii suplimentare asupra comportării centralelor în caz de insularizare, se analizează suplimentar, mai detaliat variante de principiu cu realizarea insularizării unei CET cu două grupuri (fig. 9).

Metoda de analiză poate fi extinsă şi la centralele echipate cu mai multe grupuri.

Evenimentele principale care concură la insularizare sînt enumerate mai jos. Fiecărui eveniment i se asociază o probabilitate de succes şi de insucces (P, Q):

— $E_G(P_G, Q_G)$ — funcţionarea unui grup din CET;

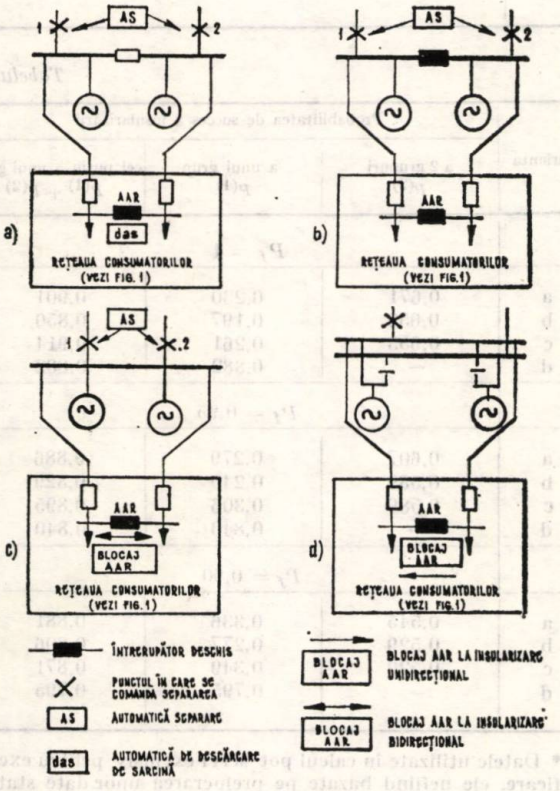


Fig. 9

— $E_s(P_s, Q_s)$ — funcţionarea instalaţiei de separare automată (inclusiv întrerupătorul de separare);

— $E_f(P_f, Q_f)$ — rămînerea în funcţionare insulară a unui grup (probabilităţile asociate pot fi exprimate în funcţie de frecvenţa la care se comandă insularizarea:

$$P_f = F(f));$$

— $E_{das}(P_{das}, Q_{das})$ — funcţionarea automaticii de deconectare a sarcinii după insularizare în funcţie de puterea surselor insularizate:

$$P_{das} = p^n_{das},$$

unde n este numărul de circuite deconectate, iar p probabilitatea de succes a deconectării unui circuit;

— $E_{AAR}(P_{AAR}, Q_{AAR})$ — funcţionarea blocajului anclanşării automate a alimentării de rezervă la insularizare:

$P_{AAR} = p^n_{AAR}$ (vezi mai sus);

— $E_p(P_d, Q_d)$ — rămînerea în funcţionare în paralel, după insularizare, a celor două grupuri; probabilitatea poate fi exprimată în funcţie de şocul de putere $\pm\Delta N$ care se produce la insularizare pe grupuri sau/şi în funcţie de calitatea reglajului maşinilor: *Q_d reprezintă probabilitatea ca după insularizare nici unul din grupuri să nu rămînă în funcţiune*;

— $E_{şoc}(P_{şoc}, Q_{şoc})$ — rămînerea în funcţiune a grupurilor în cazul producerii unui şoc de putere, în urma conectării pe acestea a unui sarcini plimentare după insularizare, ca urmare a acţiunii AAR (probabilitatea poate fi exprimată în funcţie de mărimea puterii comutate).

Cele patru variante analizate sînt următoarele:

— Varianta *a* (fig. 9, *a*) — insularizarea într-o singură insulă a două grupuri în funcţionare sincronă, cu prevederea unei automatici de descărcare corespunzătoare de sar-

cină (*das*) în cazul în care se insularizează numai un singur grup.

— Varianta *b* (fig. 9, *b*) — insularizarea celor două grupuri în două insule, fără blocaje AAR la consumator în cazul insularizării.

— Varianta *c* (fig. 9, *c*) — insularizarea celor două grupuri în două insule, cu blocajul AAR la consumator în cazul insularizării.

— Varianta *d* (fig. 9, *d*) — prevederea insularizării numai a unui singur grup din cele două, cu blocajul AAR.

mai favorabilă cu cît $P_d \to 1$, adică cu cît fenomenele dinamice (de pendulație, încărcări neproporționale etc.) la rămînerea în paralel, după insularizare, a grupurilor, sînt mai puțin probabile (de exemplu, în cazul unei echilibrări foarte bune a puterii surselor și a consumurilor în insulă, deci cînd $\pm \Delta N \to 0$).

— Varianta *d* este o variantă sigură și devine cu atît mai favorabilă cu cît numărul grupurilor care se insularizează într-una din variantele *a*, *b* sau *c* este mai mare, deoarece în aceste variante termenul P_G^{nG} crește și deci toate probabilitățile de succes analizate scad.

— O importanță mare o prezintă numărul de instalații de separare, ca și frecvența la care se comandă separarea, prima valoare dezavantajînd în special reușita insularizării în varianta *a*, iar a doua în toate variantele.

Tabelul 2

Varianta	Probabilitatea de succes a insularizării: a 2 grupuri $P^{(2)}$	a unui grup $P^{(1)}$	cel puțin a unui grup $P^{(1)} + P^{(2)}$
a	$P_G^2 \cdot P_s \cdot P_f^2 \cdot P_d$	$2 \cdot P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot P_{das} \cdot (Q_G + P_G \cdot Q_f \cdot P_d)$	$P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot [P_G \cdot P_f \cdot P_d + 2 \cdot P_{das} \cdot (Q_G + P_G \cdot Q_f \cdot P_d)]$
b	$P_G^2 \cdot P_s^2 \cdot P_f^2$	$2 \cdot P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot P_{das} \cdot P_{şoc} \cdot (Q_G \cdot P_s + P_G \cdot P_s \cdot Q_f)$	$P_G \cdot P_s \cdot P_f [P_G \cdot P_f \cdot P_s + 2 \cdot P_{das} \cdot P_{şoc} \cdot (Q_G \cdot P_s + P_G \cdot P_s \cdot Q_f)]$
c	$P_G^2 \cdot P_s^2 \cdot P_f^2$	$2 \cdot P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot P_{AAR} \cdot (Q_G + P_G \cdot P_s \cdot Q_f + Q_s)$	$P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot [P_G \cdot P_s \cdot P_f + 2 \cdot P_{AAR}(Q_G + P_G \cdot P_s \cdot Q_f + Q_s)]$
d	—	$2 \cdot P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot P_{AAR} \cdot (Q_G + P_G/2)$ (oricare dintre grupuri poate fi insularizat)	$P_G \cdot P_s \cdot P_f \cdot [0 + 2 \cdot P_{AAR} \cdot (Q_G + P_G/2)]$

Ținînd aeama de variantele *a*, *b*, *c*, *d* prezentate în figura 9, se pot deduce probabilitățile sintetizate în tabelul 2.

Pentru exemplificare se vor atribui fiecăreia dintre probabilitățile parțiale anumite valori, parametrizîndu-se valorile pentru $P_f = F(f)$.

Astfel s-a considerat :

$P_G = 0{,}85$; $Q_G = 0{,}15$

$P_s = 0{,}95$; $Q_s = 0{,}05$

$P_d = 0{,}98$; $Q_d = 0{,}02$

$P_{das} = p_{das}^{n1} = 0{,}99^5 = 0{,}95$ (pentru $n_1 = 5$, $p_{das} = 0{,}99$)

$Q_{das} = 0{,}05$

$P_{AAR} = p_{AAR}^{n2} = 0{,}99^5 = 0{,}95$ (pentru $n_2 = 5$, $p_{AAR} = 0{,}99$)

$Q_{AAR} = 0{,}05$

$P_f = 1$; 0,95 ; 0,90, iar $Q_f = 0$; 0,05 ; 0,10

Rezultatele obținute sînt date în tabelul 3.

Din rezultatele obținute se pot stabili unele criterii mai detaliate privind alegerea soluțiilor de insularizare, și anume :

— Variantele *a* și *c* sînt sensibil egale ca performanțe, cu observația că varianta *a* devine

Tabelul 3

Varianta	Probabilitatea de succes a insularizării: a 2 grupuri $P^{(2)}$	a unui grup $P^{(1)}$	cel puțin a unui grup $P^{(1)} + P^{(2)}$
	$P_f = 1$		
a	0,671	0,230	0,901
b	0,653	0,197	0,850
c	0,653	0,261	0,914
d	—	0,882	0,882
	$P_f = 0{,}95$		
a	0,607	0,279	0,886
b	0,589	0,240	0,829
c	0,589	0,306	0,895
d	—	0,840	0,840
	$P_f = 0{,}90$		
a	0,545	0,336	0,881
b	0,529	0,277	0,806
c	0,529	0,349	0,871
d	—	0,795	0,795

* Datele utilizate în calcul pot servi exclusiv pentru exemplificare, ele nefiind bazate pe prelucrarea unor date statistice.

Sub acest aspect, varianta *d* cîştigă foarte mult, deoarece echilibrarea sarcinii pe un grup este mai simplă, ceea ce permite ridicarea valorii frecvenţei la care se comandă insularizarea fără riscuri deosebite pentru grup sau pentru sistem. În acest sens trebuie remarcat că probabilitatea rămînerii insularizate „cel puţin a unui grup " (tabelul 3), pentru prevederea insularizării numai a unui singur grup (varianta *d*), se apropie de probabilităţile realizate pentru această eventualitate chiar dacă iniţial se prevede insularizarea a mai multor grupuri (variantele *a*, *b* şi *c*).

Se poate deduce deci că concluziile prezentate la pct. 2 rămîn valabile, în special în ceea ce priveşte oportunitatea ca să asigure condiţiile cele mai favorabile de insularizare cel puţin pentru unul sau două grupuri, pentru ca, în caz de nereuşită a insularizării întregii centrale aceasta să poată fi repornită imediat fără aport de putere din sistem.

Bineînţeles că analiza soluţiei sub aspectul criteriilor de siguranţă nu constituie singura cale de alegere a soluţiilor de insularizare, dar această analiză prezintă o posibilitate suplimentară, obiectivă, de selectare a soluţiilor, în contextul şi al altor criterii.

Bibliografie

[1] *Instrucţiuni pentru insularizarea CET de pe platformele industriale.* ISPE, 1978.

Determinarea consumurilor specifice cumulate de energie şi optimizarea producţiei complexe ţinînd seamă de energia înglobată

Prof. dr. ing. **N. Dănilă**
şi ing. **V. Muşatescu***)

Problema determinării exacte a consumurilor specifice energetice, deci a energiei de diverse forme, înglobată în produsele unei întreprinderi, stă la baza analizei corecte a gospodăririi energetice a acelei întreprinderi. Mai mult chiar, faptul că preţul combustibililor şi, implicit, al energiei este atît de variabil, cu accentuate tendinţe de creştere pe plan mondial, impune ajustarea şi uneori modificarea tehnologiilor de fabricaţie, în funcţie de diversele consumuri energetice. Iată de ce, strîns legată de problema modului de determinare a consumurilor specifice de energie, se află şi problema raţionalizării — la limită, a optimizării — producţiei industriale şi prin prisma energiei înglobate în produsele realizate.

În lucrarea de faţă se încearcă sistematizarea şi, unde este cazul, găsirea unor metode generale de rezolvare a acestor probleme, luînd în considerare majoritatea cazurilor care apar în practica industrială, de la cele mai simple la cele mai complexe. În acest sens, întreprinderea a fost privită ca un sistem, în cadrul căruia diferitele secţii interacţionează direct sau indirect în scopul realizării ţelului final : planul de producţie.

*) Prof. dr .ing. Nicolae Dănilă este profesor la Institutul politehnic Bucureşti; ing. Virgil Muşatescu este şef de lucrări la acelaşi institut.

1. Tratarea matematică a problemei determinării consumurilor specifice energetice

Cazul 1.1. Acest caz se referă la o întreprindere sau un grup de întreprinderi cu producţie organizată în flux continuu [1]. Luînd ca bază de timp o durată oarecare, de exemplu un an, planul de producţie al acestei întreprinderi se poate exprima cantitativ prin valorile $Z_1, Z_2, \ldots, Z_p$ şi calitativ prin sortimentele de produse $P_1, P_2, \ldots, P_p$. Evident, se realizează Z_i produse din sortimentul P_i, cu $i=1, 2, \ldots, p$. Pentru realizarea acestora este nevoie de diverse forme de energie (energie electrică, energie termică sub formă de apă fierbinte sau/şi abur de diferiţi parametri, combustibili, carburanţi, aer comprimat etc.), ale căror consumuri totale sînt $X_1, X_2, \ldots, X_n$. Pentru simplitate, se admite că în urma procesului tehnologic nu rezultă resurse energetice secundare direct utilizabile.

Se vor folosi următoarele notaţii :

$$c = \|c_{ij}\|,$$

$$\text{cu } i = 1, 2, \ldots, n$$

$$\text{şi } j = 1, 2, \ldots, m,$$

care este matricea consumurilor specifice de energie pentru realizarea semifabricatelor obţinute în lanţul procesului tehnologic, iar

$$C = \|C_{ij}\|,$$

$$\text{cu } i = 1, 2, \ldots, n \text{ şi } j = 1, 2, \ldots, p,$$

care reprezintă matricea consumurilor specifice de energie pentru obţinerea produselor P_j;

$$q = \|q_{ij}\|,$$

cu $i = 1, 2, \ldots, m$ şi $j = 1, 2, \ldots, m$, fiind matricea consumurilor specifice de semi-

fabricate pentru producerea semifabricatelor dintr-o etapă următoare a lanțului tehnologic, iar

$Q = \|Q_{ij}\|$, cu $i = 1, 2, \ldots, m$ și $j = 1, 2, \ldots, p$,

fiind matricea consumurilor specifice de semifabricate pentru realizarea produselor finale Z.

Concomitent se consideră vectorii-coloană X, Y, Z ai cantităților de energie consumată, semifabricatelor și produselor finale, sub forma :

$$X = \begin{Vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_p \end{Vmatrix}; \quad Y = \begin{Vmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_m \end{Vmatrix}; \quad Z = \begin{Vmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_p \end{Vmatrix}$$

Cu aceste notații se poate exprima sistemul de ecuații de balanță cantitativă, sub forma :

$$X = cY + CZ \tag{1}$$

$$Y = qY + QZ \tag{2}$$

Produsul

$$CZ = \left\| \sum_{k=1}^{p} C_{ik} Z_k \right\|, \text{ cu } i = 1, 2, \ldots, n$$

se va nota cu D, iar

$$QZ = \left\| \sum_{k=1}^{p} Q_{ik} Z_k \right\|, \text{ cu } i = 1, 2, \ldots, m$$

se va nota cu B.

În acest fel, ecuațiile (1) și (2) devin :

$$X = cY + D \tag{3}$$

și

$$(U - q)\, Y = B, \tag{4}$$

unde cu U s-a notat matricea-unitate de dimensiuni $m \times m$.

Făcînd analiza datelor practice, se poate observa (conform [2]) că matricea $(U - q)$ este nesingulară, deci există matricea $(U - q)^{-1}$. Rezultă :

$$Y = (U - q)^{-1} B \tag{5}$$

Combinînd relațiile (3) și (5), se obține :

$$X = [c(U - q)^{-1} Q + C] Z \tag{6}$$

Relația (6) dă funcțiile de transmitanță în sens Mason [2] pentru întreprinderea sau grupul de întreprinderi luat în considerare, făcîndu-se astfel legătura dintre consumurile de energie și produsele întreprinderii. Deci consumurile specifice de energie sînt elementele matricei :

$$\alpha = c\,(U - q)^{-1}\, Q + C, \tag{7}$$

iar

$$X = \alpha Z \tag{8}$$

Acest mod de tratare este valabil în general cînd este posibil ca un semifabricat să contribuie la fabricarea lui însuși (de exemplu în industria chimică), ceea ce presupune $q_{ii} \neq 0$. Pentru majoritatea cazurilor, $q_{ii} = 0$, iar inversarea matricei $U - q$ nu mai este necesară, deoarece prin schimbări convenabile de linii și coloane se poate obține o matrice triunghiulară cu elementele de pe diagonala principală și de sub această diagonală nule, astfel încît calculul relației (4) este direct.

Cazul 1.2. În anumite industrii (chimie, metalurgie etc.), odată cu producerea unui semifabricat principal necesar pentru fabricarea unui anumit produs final Z_j, mai pot să apară cantități suplimentare din alte semifabricate (eventual care să nu intre în componența nici unui produs din plan). Conform nomenclaturii industriale [3], aceste semifabricate sînt secundare. Consumurile specifice de energie se raportează la produsele principale, iar în cadrul unei analize mai amănunțite, la semifabricatele principale. De aceea consumurilor specifice calculate în acest mod le corespund valori nule pentru semifabricatele secundare.

Pentru a obține consumurile reale, fie s_{ij} cantitatea care apare suplimentar din semifabricatul S_j, exprimată în unitățile lui S_j și obținută cînd se produce o unitate de măsură din semifabricatul S_i. Cantitatea totală suplimentară ΔY_j din semifabricatul S_j este (conform [1]) :

$$\Delta Y_j = \sum_{i=1}^{r} s_{ij} Y_i, \quad j = 1, 2, \ldots, m', \tag{9}$$

unde r este numărul semifabricatelor principale.

Rezolvînd problema ca în cazul 1.1, se poate calcula un vector-coloană Y fără a ține seamă de semifabricatele secundare, avînd componentele $Y_1, Y_2, \ldots, Y_m$. Se află apoi, conform [1], componentele vectorului general Y^*, corectat, de dimensiuni $m' \times 1$, după relația :

$$Y^* = \begin{cases} max\,(Y_j, \Delta Y_j) \text{ pentru } j = 1, 2, \ldots, m \\ Y_j \text{ pentru } j = m + 1, m + 2, \ldots m'. \end{cases} \tag{10}$$

Dacă $\Delta Y_j - Y_j > 0$, diferența rămîne în stoc sau se livrează la altă întreprindere.

Păstrînd aceleași notații ca în cazul 1.1, ecuația de bilanț se scrie :

$$X = cY^* + CZ, \tag{11}$$

cu matricea c de dimensiuni $n \times m'$, la care coloanele $m + 1, m + 2, \ldots, m'$ sînt zerouri.

Rezolvarea problemei urmează aceeași cale ca la cazul anterior și în acest fel se poate soluționa problema determinării consumurilor specifice în forma ei cea mai generală.

2. Problema optimizării producției complexe ținînd seama de energia înglobată

Cazurile expuse anterior presupuneau existența unor probleme echilibrate, fără restricții. Situațiile reale se caracterizează fie prin capacități de producție limitate, fie prin restricții asupra cantității sau/și formei de energie folosite. În cele ce urmează se vor studia cazurile reale care pot apărea și modul lor de abordare pe baza unor modele matematice specifice.

Cazul 2.1. În condițiile de la cazul 1.1 se consideră o capacitate limitată pentru instalațiile întreprinderii; fie aceasta M_k ($k = 1, 2, \ldots, \nu$). Fiecare instalație realizează un singur semifabricat sau produs. Fie CM_{jk} capacitatea instalației M_k de a produce produsul (semifabricatul) j.

Pentru simplitate, se va lua la început situația

$$\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} = Y_j, \quad j = 1, 2, \ldots, m, \tag{12}$$

adică este satisfăcută egalitatea capacității efective cu cea necesară. Definind un factor de încărcare

$$\Psi_j = \frac{Y_j}{\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk}},$$

acesta este unitar pentru orice $j = 1, 2, \ldots, m$.

Astfel, ecuația de bilanț apare sub forma:

$$X = cY + D = cCM + D, \tag{13}$$

în care cu CM s-a notat vectorul-coloană de componente

$$CM_j = \sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk}$$

Rezolvarea ecuației matriciale (14) se face astfel:

$$X = cCM + CZ = (cCMZ^{-1} + C)\,Z; \tag{14}$$

deci păstrînd notațiile anterioare:

$$\alpha = cCMZ^{-1} + C \tag{15}$$

Cazul 2.2. Factorul de încărcare se admite $\Psi_j > 1$ pentru cel puțin un tip de semifabricat. Cu alte cuvinte, se poate considera că instalațiile au un deficit de capacitate pentru produsul (semifabricatul) de tip j. Admitem că acest deficit nu se poate obține în întregime prin aprovizonare de la o întreprindere, deci rezultă o lipsă de capacitate ΔCM_{jk} a instalației M_k de a fabrica semifabricatul/ produsul j:

$$\Delta CM_{jk} = Y_j - \left(\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} + Y_{ja}\right), \tag{16}$$

unde cu Y_{ja} s-a notat cantitatea care poate fi aprovizionată.

Simultan apar următoarele restricții de fabricație:

$$\sum_{i=1}^{p} Q_{ji} Z_i \leqslant \sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} + Y_{ja} \tag{17}$$

și

$$\sum_{i=1}^{p} C_{ji} Z_i \leqslant X_j - \sum_{h=1}^{m} c_{jh} \left(\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk}\right) \tag{18}$$

Problema astfel pusă poate fi soluționată în sensul optimizării după un criteriu oarecare (maximizarea beneficiului, minimizarea costului etc.). Întrucît și funcția-obiectiv depinde liniar de componentele matricei Z, rezolvarea problemei se face prin una dintre metodele programării liniare.

Cazul 2.3. Fie $\Psi_j < 1$ pentru cel puțin un tip de semifabricat. În acest caz:

$$\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} > Y_j \tag{19}$$

Înseamnă că o cantitate ΔCM_{jk} rămîne nefolosită (se stochează sau se dă altei întreprinderi):

$$\Delta CM_{jk} = \sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} - Y_j \tag{20}$$

Dacă întreaga cantitate ΔCM_{jk} se poate livra unor clienți, se ajunge la un caz de echilibru (cazul 2.1). Dificultatea apare dacă întreprinderea reușește să livreze doar o parte $Y_{jv} < \Delta CM_{jk}$, cantitatea Y_{jv} fiind tratată ca o componentă a unui produs finit. Deci vectorul Z se completează cu componentele Y_{jv} și se obține un nou vector Z^*.

Vectorul semifabricatelor devine atunci:

$$Y' = (U - q)^{-1} QZ^*, \tag{21}$$

iar al energiilor:

$$X' = \alpha Z^* \tag{22}$$

Restricțiile problemei sînt:

$$\sum_{k=1}^{\nu} CM_{jk} \geqslant Y'_j, \quad j = 1, 2, \ldots, m, \tag{23}$$

la care, dacă se atașează o condiție de optim, se obține tot o problemă de programare liniară.

Cazul 2.4. Cazul cel mai complex apare atunci cînd o instalaţie de tipul M_k poate fabrica mai multe semifabricate S_j sau produse Z_i. Notînd cu CM^s_{jk}, respectiv CM^p_{ik}, capacitatea instalaţiei M_k de a produce semifabricatul S_j, respectiv produsul Z_i, restricţiile problemei vor fi :

— cele de tip balanţă :

$$\sum_{k=1}^{\nu} N_{jk} = Y_j, \quad j = 1, 2, \ldots, m \qquad (24)$$

$$\sum_{k=1}^{\nu} Q_{ik} = Z_i, \quad i = 1, 2, \ldots, p \qquad (25)$$

— cele de nedepăşire a timpului disponibil al fiecărei instalaţii :

$$\sum_{j=1}^{m} \frac{N_{jk}}{CM^s_{jk}} + \sum_{i=1}^{p} \frac{Q_{ik}}{CM^p_{ik}} \leqslant \tau_k \qquad (26)$$

$$k = 1, 2, \ldots, \nu$$

Notînd cu p^s_{jk} costul producerii semifabricatului S_j şi cu p^p_{ik} — costul producerii produsului P_k, ambele pe instalaţia M_k, funcţia-obiectiv (costul) devine :

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{\nu} p^s_{jk} N_{jk} + \sum_{i=1}^{p} \sum_{k=1}^{\nu} p^p_{ik} Q_{ik} = MIN, \qquad (27)$$

unde cu N_{jk} şi Q_{jk} s-au notat cantităţile de semifabricate S_j, respectiv produse Z_i realizate de instalaţia M_k.

Cazul 2.5. În cazul unor combustibili la care calitatea energetică depinde de zăcămîntul de extracţie, consumurile specifice sînt variabile aleatorii. De aceea urmează, în acest caz, să se aplice metode matematice specifice, de exemplu metoda Monte Carlo.

Bibliografie

[1] Teodorescu, N. ş.a. *Metode ale cercetării operaţionale în gestiunea întreprinderii.* Editura tehnică, Bucureşti, 1972.

[2] Elmaghraby, S. E. *Proiectarea sistemelor de producţie.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[3] Lasdon, L. S. *Teoria optimizării sistemelor mari.* Editura tehnică, Bucureşti, 1975.

[4] Dănilă, N., Mușatescu, V. şi Stan, N.: *On the optimal dimensioning of the sequential thermal processes.* VIII International Conference on Industrial Energetics, Gdansk, 1974.

Aspecte energotehnologice la instalaţiile de piroliză

Ing. **P. Enăchescu***)

Instalaţia de piroliză — indiferent de materia primă utilizată în procesul de fabricaţie — este o înlănţuire de agregate energotehnologice lucrînd la parametrii echivalenţi agregatelor energetice de înaltă presiune.

Procesul tehnologic comportă agregate energotehnologice de mare complexitate, şi anume :

— cazane recuperatoare pentru debite importante şi la presiuni de 100 ata şi 530°C (sau 400 °C) ;

— supraîncălzitoare de abur de la 400 la 530°C ;

— compresoare de debite mari pentru gaze cracate, etilenă sau propilenă, antrenate de turbine cu abur de puteri variind între 2,5 şi 3,5 MW pînă la puteri de 12—15 MW ;

— cazane auxiliare de abur cu parametrii similari cazanelor recuperatoare.

Problema cea mai importantă într-o piroliză, după ce capacitatea de producţie şi materia primă au fost stabilite, este alegerea schemei energetice de recuperare, astfel ca aceasta să aibă eficienţa maximă.

Rezolvarea problemei la un nivel cît mai ridicat de eficienţă economică este foarte dificilă, deoarece cuprinde un număr mare de variabile aleatorii, printre care cele mai importante sînt următoarele :

a) Sortul sau sorturile de materie primă care pot conduce la un debit mai mic sau mai mare de abur produs în cazanele recuperatoare ; variaţia debitului produs în cazanele recuperatoare este de $1-1{,}5\ Q_{nom}$.

b) Tipul cuptorului de cracare ales, şi el fiind funcţie de materia primă supusă procesului de prelucrare ; acesta poate furniza abur saturat sau supraîncălzit. În cazul livrării de abur saturat este necesară supraîncălzirea acestuia într-un agregat separat, fapt ce conduce la un consum specific suplimentar de combustibil.

c) Parametrii de lucru şi randamentele compresoarelor de gaze din proces ; funcţie de puterea cerută, creşte sau scade consumul de abur, ceea ce conduce la prevederea de cazane auxiliare, în special pentru pornire. Limitele de variaţie a sarcinii pe fiecare compresor fac ca puterea necesară la antrenare să varieze între 0,6 şi 1,1 P_{nom} ; funcţie de această variaţie a sarcinii scade sau creşte şi puterea maşinii de antrenare şi, în mod implicit, consumul de abur.

d) Fiabilitatea cerută instalaţiei de piroliză, în special ţinînd seamă de faptul că ea este capul unui lanţ tehnologic ; fiabilitatea impusă este cu atît mai mare cu cît toate maşinile rotative din cadrul unei instalaţii sînt unicate.

*) Petre Enăchescu este inginer la Institutul de inginerie tehnologică şi proiectări pentru industria chimică (IITPIC).

e) Implementarea instalației de piroliză în cadrul platformei industriale, în care un rol foarte important îl constituie schimbul de abur cu barele de abur ale platformei; acest schimb de abur poate avea loc în ambele sensuri și pe toți parametrii.

f) Alegerea parametrilor aburului la toți parametrii, funcție de necesitățile propriului proces tehnologic și în concordanță cu parametrii platformei în care se face amplasarea.

Pentru a se realiza un indice ridicat de eficiență economică trebuie avute în vedere cîteva obiective importante, printre care :

1. Un indice de condensație cît mai scăzut; acesta atrage după sine un consum mic de abur de antrenare, dar turbina de contrapresiune (chiar și cu priză) are o elasticitate redusă, fapt care nu totdeauna este în concordanță cu elasticitatea cerută de compresoarele din proces. Un indice de condensație redus conduce la prețuri unitare pe agregate de asemenea scăzute, iar economia de investiții este și ea mai redusă, prin lipsa condensatoarelor de abur și a circuitului apei de răcire.

2. Consumul de abur tehnologic pentru propriul proces tehnologic trebuie să fie redus la minimum, iar parametrii ceruți să fie cît mai scăzuți (debit, presiune, temperatură). Consumul cerut de tehnologie are în principal următoarele utilizări :

2.1. Preîncălzirea produsului pentru aducerea lui la temperatura economică cerută de procesul tehnologic. În schemele de mare eficiență, preîncălzirea materiei prime înainte de procesele de cracare se face pe seama produselor calde (gaze sau lichide) care ies din cuptorul de cracare și care trebuie răcite pentru a fi prelucrate.

2.2. Preîncălzirea apei de alimentare necesară cazanelor recuperatoare. Reducerea consumului de abur pentru preîncălzirea apei poate fi făcută prin preîncălzirea recuperativă a acesteia în contracurent cu produsele ce trebuie răcite.

3. Recuperarea la maximum a deșeurilor combustibile rezultate din procesul de fabricație și utilizarea lor la un indice cît mai înalt de eficiență economică.

Aceasta înseamnă recuperarea tuturor fracțiilor secundare sub forma unor produse pentru alte secții de fabricație; din studiile efectuate pînă în prezent rezultă că recuperarea deșeurilor combustibile prin arderea acestora, indiferent de nivelul exergetic la care se face această recuperare, are cel mai mic indice de eficiență economică comparativ cu recuperările sub forma unor produse ce se reintroduc în ciclul de fabricație.

Din procesul de piroliză, deșeurile combustibile obținute și utilizate în general drept combustibil sînt amestecurile de gaze și uleiurile grele, care sînt reintroduse în rețelele de combustibil ale instalației tehnologice, respectiv la cuptoarele de piroliză și la cazanele auxiliare.

Arderea ambelor tipuri de combustibil presupune unele dificultăți, deoarece gazele conțin H_2 și C_2H_2, iar lichidele sînt nestabile și dau produși de polimerizare aderenți la conducte și care prin răcire duc la creșterea viscozității.

De asemenea, prin încălzire în scopul pulverizării înainte de arzător, acestea degajă produse volatile cu limite de explozie foarte variabile, funcție de compoziția amestecurilor de gaze. Din acest considerent, depozitarea trebuie făcută sub pernă de azot, iar la întreruperea pompării conductele de transport trebuie de asemenea golite și suflate cu azot.

În ceea ce privește direcția de recuperare a acestor deșeuri prin arderea lor în cuptoare, problemele ce se pun sînt următoarele :

3.1. Obținerea de abur cu parametri cît mai ridicați, astfel încît energia produsă să fie maximă. Aburul este produs în principal în următoarele agregate energotehnologice :

— cuptoarele de cracare cu sau fără supraîncălzitor de abur

— cazanele auxiliare.

Funcție de materia primă, construcția cuptorului este diferită, atît ca structură tehnologică cît și ca structură energetică.

De asemenea, funcție de același parametru, variază și cantitatea de căldură ce se recuperează și parametrii aburului livrat.

Ca structură energetică, aceste cuptoare au următoarele funcții

— preîncălzitor de apă;

— preîncălzitor de aer de combustie;

— fascicole de vaporizare : de convecție și de radiație;

— supraîncălzitor.

Fascicolul de supraîncălzire este inclus numai în cuptoarele de cracare a fracțiilor grele.

Aburul rezultat din cuptoare este de 100 ata și 380—400 °C în cazul cuptoarelor fără fascicol de supraîncălzire, iar la cele cu supraîncălzire temperatura aburului produs este de 530—540°C.

Este de menționat că sînt construite de asemenea cuptoare care nu cuprind — din concepție — funcția de supraîncălzire a aburului. Pentru această funcție s-a creat utilaj separat, care are în exclusivitate funcția de supraîncălzitor.

Datorită parametrilor la care trebuie să realizeze supraîncălzirea, agregatul are un randament scăzut, motiv pentru care a fost elaborat acest gen de cuptor de cracare, iar funcția de supraîncălzire a fost inclusă, la construcțiile mai noi de cuptoare, în cadrul cuptorului de piroliză.

Cazanul auxiliar are funcția de a suplimenta, în diverse regimuri de funcționare a cuptoarelor de cracare, cantitatea de abur ce nu poate fi asigurată de acestea.

Din punct de vedere funcțional, el lucrează la același regim de presiune și temperatură și

este integrat pe toate circuitele (abur, apă de alimentare, combustibil, purjă) cu cazanele recuperatoare de la cuptoare.

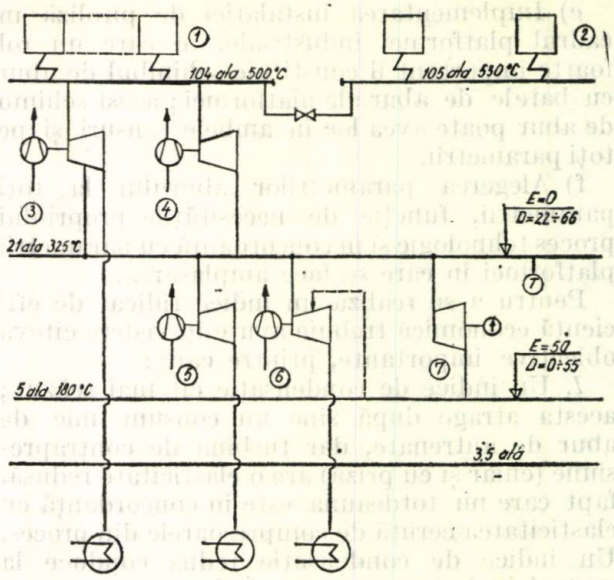
Din punct de vedere constructiv, acest cazan trebuie să aibă o inerţie termică minimă şi totodată posibilitatea unei mai mari variaţii de sarcină pentru acomodarea în minimum de timp cu cererea de abur a turbinelor de antrenare a compresoarelor.

4. Încadrarea instalaţiei de piroliză în schema termică a platformei industriale de care aparţine este, de asemenea, o problemă dificilă şi care presupune rezolvarea favorabilă a următoarelor probleme :

4.1. Reducerea la minimum a consumului de abur din afară în cazul în care acest abur este produs din combustibil fosil.

4.2. Aspectul problemei este cu totul altul în cazul în care platforma are excedent de abur produs din cazane recuperatoare — în special pe barele de medie şi joasă presiune — cînd se impune folosirea acesteia fie în scopuri tehnologice, fie în scopuri energetice.

În figură se dă un exemplu de modul în care poate fi prezentată o asemenea schemă de balanţă. Din această figură se poate vedea cît



de mare este numărul de variante în care poate fi întocmită această schemă, ţinînd seamă de cele menţionate mai sus.

Lucrarea de faţă a avut ca obiectiv să arate implicaţiile de natură energotehnologică, scopul ei fiind atins în măsura în care implicaţiile au fost înţelese de cititori.

Secția 3

Raport general

Creșterea influenței energeticii în economia industrială

Raportor general: dr. ing. **Călin Mihăileanu** *)

În actuala conjunctură energetică, pe plan mondial a apărut ca necesară reconsiderarea concepției asupra aspectelor legate de integrarea energiei de diferite forme în procesele tehnologice industriale. Această reconsiderare trebuie să țină seama de existența a două tendințe contrare : pe de o parte, „foamea" crescîndă de energie, datorată dezvoltării extensive și accelerate a industriei, și, pe de altă parte, necesitatea de a limita, și chiar a reduce la minimum, consumurile de energie.

Ca urmare, influența energeticii în economia industrială a crescut în permanență și se poate considera că în prezent latura energetică a unui proces industrial trebuie tratată (atît în faza de proiectare cît și la realizare și în exploatare) cu cel puțin aceeași importanță care se acordă aspectelor tehnologice.

În energetica industrială a existat încă de la începuturile ei dezideratul realizării unei alimentări cu energie a proceselor tehnologice în condițiile impuse de buna desfășurare a acestora, sau, cu alte cuvinte, a existat necesitatea menținerii parametrilor formelor de energie respective, între anumite limite, în jurul unei valori prescrise. Unul dintre parametrii principali este cantitatea de energie introdusă în proces sub diferite forme, care se regăsește în final în energia înglobată în produse și în pierderi.

În afara acestui parametru, care, evident, caracterizează cantitativ procesul tehnologic, mai există o serie de alți parametri, care exprimă calitatea formei de energie absorbită (de exemplu tensiunea și frecvența în cazul energiei electrice, temperatura în cazul purtătorilor de căldură etc.). Abaterile în afara limitelor prescrise ale acestor parametri conduc totdeauna la dereglări ale proceselor, mergînd pînă la întreruperi totale însoțite uneori de deteriorări de echipamente, pericole de incendii sau explozii etc.

În consecință, acțiunile specialiștilor din cercetarea, proiectarea și exploatarea tehnologiilor industriale au fost canalizate în două direcții :

— asigurarea cantității de energie de diferite forme necesare realizării bunului material obținut din proces ;

— asigurarea continuității în funcționare a proceselor prin menținerea parametrilor calitativi ai energiei în limitele normale.

Un interval îndelungat de timp, în care societatea nu a fost confruntată cu penuria resurselor energetice, cea de-a doua direcție a fost predominantă, energetica industrială fiind un secondat al tehnologiei, față de care era obligată ca, prin soluții tehnice adecvate, să asigure funcționarea continuă a proceselor.

O dată cu apariția crizei energetice, prima direcție capătă rolul principal, cu toate că pretențiile industriilor față de parametrii calitativi ai energiei se mențin la același nivel, în unele cazuri devenind chiar mai severe. În aceste condiții, eforturile specialiștilor se îndreaptă spre reducerea la minimum a consumului de resurse energetice necesar realizării bunurilor și chiar spre influențarea societății în sensul renunțării la o serie de produse cu conținut ridicat de energie înglobată sau al înlocuirii acestora cu altele, cu caracteristici funcționale asemănătoare, dar cu conținut energetic scăzut.

Desigur, realizarea unei asemenea politici implică o mult mai pregnantă întrepătrundere între tehnologia și energetica industrială, reușita acțiunilor fiind asigurată numai printr-o strînsă colaborare între tehnologi și energeticieni.

În cadrul celei de-a treia secții a celei de-a IX-a Conferințe Internaționale de Energetică Industrială, ne propunem să analizăm împreună progresele și tendințele din ultimii ani referitoare la această integrare crescîndă a energeticii în economia industrială.

Numărul mare de referate și de participanți din diferite țări înscrișii la lucrările secției arată că se manifestă, în rîndul specialiștilor din domeniul energeticii industriale, un deosebit interes pentru problemele din profilul secției. De asemenea, considerăm că nivelul ridicat al rapoartelor și numeroasele contribuții originale aduse de autori creează o bază temeinică pentru efectuarea unui schimb constructiv de păreri, pentru generalizarea unor soluții și metode, pentru realizarea unor pași importanți în conceperea unor principii noi în politica energetică din industrie.

*) Dr. ing. Călin Mihăileanu este director general al Institutului central de cercetări energetice.

Ca tematică prioritară pentru secţia a 3-a, ne propunem să analizăm soluţiile orientate spre o economie severă de energie, sub diferite forme, în procesele industriale, spre reducerea nevoilor de produse cu conţinut ridicat de energie înglobată şi spre găsirea de produse înlocuitoare pentru obţinerea cărora sînt necesare consumuri reduse de energie.

Ne propunem să insistăm în analiza soluţiilor verificate practic şi care se pot generaliza la procese tehnologice similare.

Analiza problemelor tratate în cadrul rapoartelor

Problematica rapoartelor încadrate în secţia a 3-a este variată. Încercînd însă o sistematizare a temelor tratate, se pot distinge următoarele categorii :

a) *Probleme generale de politică energetică în economia naţională*

În această categorie s-au încadrat 4 rapoarte (3.4 —România, 3.11 — U.R.S.S., 3.18 — R.D. Germană şi 3.5 — Ungaria).

În raportul 3.4 sînt tratate problemele majore ale energeticii în R.S.România şi strategia de urmat în rezolvarea lor. După ce trece în revistă principalele aspecte ale conjuncturii energetice pe plan mondial, sesizînd o serie de căi pentru micşorarea deficitului de energie al unor zone geografice, cum ar fi : întărirea cooperării între ţările dezvoltate şi cele producătoare de petrol, interconexiunea sistemelor electroenergetice şi a reţelelor de combustibil etc., raportul analizează situaţia din România, arătînd creşterea consumului intern în ultimii ani.

Astfel, dacă în anul 1965 consumul intern de energie primară a fost de 40,91 mil. t c.c., iar cel de energie electrică de 16,88 TWh, în 1976 aceşti indicatori au atins valorile de 83,29 mil.t c.c., respectiv 56,81 TWh.

Din punctul de vedere al structurii consumului de resurse energetice primare, la nivelul anului 1976 hidrocarburile reprezintă 75% (din care gazele naturale 53 %), iar cărbunele 18,3 %.

Analiza consumului industrial a arătat că cei mai mari consumatori sînt : industria chimică (34,5 % din consum), industria metalurgică (23,5 %) şi industria forestieră (12,6%).

Faţă de existenţa unor rezerve limitate de resurse energetice, s-au adoptat ca linii directoare :

— valorificarea cu maximă eficienţă a hidrocarburilor prin utilizarea în industria petrochimică şi limitarea folosirii lor în scopuri energetice ;

— folosirea intensă a combustibililor solizi cu putere calorică scăzută în producerea energiei electrice şi termice ;

— utilizarea maximă a potenţialului hidroenergetic.

În paralel s-au intensificat acţiunile pentru găsirea de noi zăcăminte de hidrocarburi, combustibili solizi şi ape geotermale, s-au amplificat cercetările pentru valorificarea resurselor energetice neclasice (energia solară, eoliană, geotermală, deşeuri menajere, biomase etc.) şi pentru obţinerea de înlocuitori pentru hidrocarburi.

Eficacitatea utilizării şi economia resurselor energetice ale U.R.S.S. sînt tratate pe larg în raportul 3.11.

Problemele de economisire a energiei se bucură de o mare atenţie, în special în ultimii ani.

U.R.S.S. îşi acoperă în întregime necesarul de energie şi combustibili din resurse proprii, dar aceasta nu micşorează interesul pentru utilizarea lor raţională. În acest scop se acţionează pe trei direcţii principale :

— introducerea progresului tehnic în toate ramurile industriale ;

— înlocuirea maxim posibilă a tipurilor deficitare de combustibil ;

— deplasarea consumatorilor mari de energie spre locurile de producere a acesteia.

În ceea ce priveşte producţia de resurse, în ultima sută de ani jumătate din producţia de gaze s-a realizat în ultimul deceniu, cea de petrol în ultimii 14 ani, iar cea de cărbune în ultimii 33 de ani. Orientările principale în acest domeniu au fost : creşterea gradului de extracţie, utilizarea tuturor componentelor minereurilor.

În perioada 1971 — 1975 consumul specific de combustibil în centrale a scăzut cu 26 g c.c./kWh, iar în 1980 se preconizează atingerea unui consum de 325—328 g c.c. / kWh.

În ceea ce priveşte consumul industrial, 52 % este preluat de prelucrarea ţiţeiului, chimie şi metalurgia neferoasă, 22 % de industria materialelor de construcţii, metalurgia neferoasă, celuloză şi hîrtie, consumul total în industrie reprezentînd 55 % din producţia de energie şi combustibili.

În continuare se prezintă o serie de metode de reducere a consumului în diferite domenii şi rezultatele obţinute. Astfel, de exemplu, în perioada 1970—1975, consumul specific de căldură a scăzut cu 84,3 % în petrochimie, de 7,5—8 ori la producerea amoniacului etc.

Se tratează apoi problemele utilizării resurselor secundare și căldurii de potențial scăzut.

În alte ramuri (transport, gospodărie rurală și sectorul orășenesc) s-au obținut de asemenea rezultate bune.

În raportul 3.18 se prezintă aspectele principale și rezultatele obținute în raționalizarea consumurilor de energie în R.D. Germană. Se arată că, în această țară, acoperirea necesarului de energie se face de cîțiva ani și în perspectivă pe următoarele căi : valorificarea mărită a rezervelor de resurse energetice, creșterea capacităților de producție (extinderea celor existente și construcția de noi capacități) și utilizarea rezervelor obținute din economii. În ceea ce privește consumul industrial, orientarea este de a se obține economii de ordinul 4,7 — 5 % pe an, ceea ce înseamnă că în perioada 1976—1980 economiile vor atinge 40 milioane tone echivalente cărbune brut. Ca principală metodă de realizare se utilizează optimizarea energetică a proceselor pe baza analizei amănunțite a acestora. Această acțiune a început din anul 1971 și constituie o preocupare continuă. Ca rezultate se arată că în perioada 1971—1977 numărul măsurilor stabilite și aplicate a crescut cu 12,3%, valoarea lucrărilor executate pentru realizarea măsurilor cu 22,9 %, eficiența economică cu 21,7%, iar cea energetică cu 18 %. Din eficiența energetică, 60 % s-a obținut în instalațiile de producere, transport și distribuție și 40 % în cele de utilizare a energiei.

Acțiunea de raționalizare s-a extins și asupra încălzirii clădirilor civile și industriale și se preconizează că la nivelul anului 1990 să se obțină o reducere a consumului în acest domeniu cu 30 %.

Principiile generale ale politicii, cercetării și dezvoltării științifico-tehnice în energetica din R.P. Ungară sînt tratate în raportul 3.5. S-au stabilit următoarele direcții principale :

— reanalizarea și selectarea scopurilor și domeniilor de cercetare proprie ;

— concentrarea activității și a capacității de cercetare și dezvoltarea tehnologică pe acele domenii în care, pe baza condițiilor țării și a experienței existente, se pot obține pe plan intern rezultate importante ;

— realizarea unei cooperări internaționale avantajoase prin preluarea și utilizarea în țară a rezultatelor din străinătate, inclusiv prin achiziționarea de licențe.

În ceea ce privește alegerea tehnologiilor, se utilizează drept criterii : valoarea producției, caracteristicile de calitate ale produselor, nivelul lor tehnic, posibilitățile tehnico-științifice pentru dezvoltarea lor continuă, situația internă și externă a pieții și perspectivele acesteia, infrastructura producției, conducerea și organizarea modernă a întreprinderilor și perfecționarea cadrelor.

În condițiile R.P. Ungare, care impun dezvoltarea industrială cu un consum cît mai mic de energie, s-a format o orientare către realizarea unor produse care pot fi schimbate la export cu resurse energetice.

Ca o cerință primordială la cadrele din cercetarea și dezvoltarea tehnologică în energetică se preconizează creșterea pregătirilor și a receptivității față de noile tehnologii și produse. Se menționează că în acest domeniu lucrează 170 000 de persoane. Pentru cercetare în energetică există 120 puncte de lucru (inclusiv cele din întreprinderi), iar în perioada 1976—1980 s-au alocat fonduri în valoare de 3,2 miliarde forinți.

Tematica din perioada 1980—2000 este orientată spre : metode de găsire și punere în exploatare de noi resurse, dezvoltarea producției de cărbune, petrol și gaze, diversificarea formelor de transformare a purtătorilor de energie, a metodelor de obținere, depozitare și distribuție a acestora, stimularea creșterii eficienței utilizării resurselor energetice, crearea de aparate și echipamente cu randamente ridicate și dezvoltarea economiei energetice.

b) *Probleme legate de utilizarea rațională a energiei și combustibililor în diferite ramuri industriale*

În această categorie au fost incluse 13 rapoarte (3.3, 3.1, 3.2 — U.R.S.S. ; 3.10 — Polonia ; 3.9, 3.6, 3.7 — Ungaria și 3.20, 3.19, 3.14, 3.12, 3.22, 3.24 — România).

În raportul 3.3 se tratează unele probleme specifice energeticii industriale, în procese la care se întîlnesc produse finale și tehnologii foarte diferite. Ca soluții pentru economia de energie se detașează : utilizarea agenților termici de foarte înaltă temperatură, returnarea condensatului aburului tehnologic, utilizarea consumatorilor-tampon pentru aplatisarea curbelor de sarcină, ca și necesitatea înlocuirii combustibililor de calitate superioară prin combustibili inferiori.

Un sistem informativ-organizatoric pentru creșterea permanentă a gradului de utilizare a resurselor energetice în industrie este prezentat în raportul 3.1. La baza sistemului stă analiza consumurilor de energie. Aplicarea sistemului presupune existența unor statistici dezvoltate, a unor bogate documentații tehnice și reglementări. Se precizează rolul cercetării de ramură, care trebuie să elaboreze materiale metodologice și reglementări pentru analiza consumurilor, precum și rolul proiectării, care trebuie să asigure recomandările-tip pentru alegerea soluțiilor energetice optime. Se prezintă un exemplu de aplicare în industria chimică.

Raportul 3.2 prezintă direcţiile principale ale utilizării plasmei în procesele tehnologice industriale. Corespunzător stadiului actual de dezvoltare a tehnicii, este utilizabilă industrial numai plasma de joasă temperatură (10^3 — 10^5 °K). Prin folosirea energiei electrice pentru generarea plasmei de joasă temperatură devine posibilă o micşorare considerabilă a duratei ciclurilor tehnologice, o reducere a consumului de combustibil şi de agenţi de lucru,

Una din direcţiile de bază pentru utilizarea industrială a plasmei o constituie obţinerea metalelor şi a substanţelor chimice foarte pure. În raport se dau exemple de aplicaţii în acest domeniu, inclusiv în ceea ce priveşte obţinerea unor oţeluri aliate speciale.

În raportul 3.10 se prezintă două metode de optimizare a consumului de energie electrică în industria cimentului. Prima metodă constă în reducerea consumului în diferitele faze ale procesului prin măsuri tehnologice şi se bazează pe urmărirea continuă a acestuia cu ajutorul aparatelor de măsură înregistratoare.

A doua metodă utilizează modelarea matematică a principalelor faze. Prin optimizarea fazelor se ajunge la realizarea unui indice de consum minim.

Metodele sînt aplicate pentru două cazuri concrete.

Un alt sistem de utilizare raţională a resurselor energetice în industrie este prezentat în raportul 3.9. Sistemul ia în considerare o serie de factori ai conduitei tactice, ca, de exemplu : evitarea risipei de energie, reducerea consumurilor neproductive produse de întîrzierea realizării investiţiilor şi a punerilor în funcţiune, îmbunătăţirea schimburilor de energie, reducerea poluării, pregătirea personalului etc.

În raportul 3.6 se prezintă problemele actuale ale economiei de energie în domeniul lucrărilor rutiere din Ungaria. Raportul trece în revistă realizările din domeniul menţionat, lucrări care joacă un rol însemnat în optimizarea transporturilor şi urbanizarea localităţilor, şi care reprezintă aproximativ 1/3 din producţia totală a industriei construcţiilor. Se analizează în detaliu problemele utilizării resurselor energetice în corelare cu realizarea lucrărilor rutiere.

Problema optimizării energetice a cuptoarelor industriale este tratată în trei rapoarte.

Raportul 3.7 prezintă o metodă de menţinere optimă în stare caldă a cuptoarelor în afara perioadei de funcţionare. Aplicarea metodei pe un caz concret arată avantajele acesteia prin economiile de energie obţinute.

În raportul 3.12 se prezintă aspecte legate de creşterea randamentului termic al cuptoarelor de forjă şi pentru tratamente termice. Măsurile necesare creşterii eficienţei se referă la relaţiile de schimb între cuptor, preîncălzitorul de aer şi instalaţia de combustibil. Se preconizează recuperarea căldurii pentru preîncălzirea aerului şi producerea de apă caldă, precum şi folosirea gazelor arse în instalaţii de uscare. De asemenea, se menţionează utilizarea unor noi tipuri de arzătoare, care permit folosirea combustibililor inferiori fără preîncălzirea aerului.

O analiză a efectelor energetice pe care le are mărimea tensiunii de alimentare asupra cuptoarelor electrice cu arc este prezentată în raportul 3.24. Se tratează variaţia indicatorilor energetici şi de producţie ai unui cuptor în cazul regimului normal şi în cel de funcţionare cu tensiune redusă. Concluziile arată că funcţionarea optimă este la limita superioară a benzii de tensiune. O reducere a acesteia cu 6 % provoacă creşterea duratei unei şarje cu 5 % şi a consumului de energie pe şarjă cu 2%.

Principalele aspecte energetice referitoare la industria chimică din România sînt relevate în raportul 3.20. În 1977 industria chimică a consumat 19 % din totalul energiei electrice produse în ţară. Principalele căi prin care în industria chimică se obţine o reducere considerabilă a consumurilor sînt : orientarea dezvoltării ramurii chimiei pe structura unei tehnologii moderne cu consum mic de energie şi combustibil şi valorificarea resurselor energetice secundare pentru diminuarea aportului de energie primară din exterior. Urmînd aceste căi, s-au obţinut rezultate spectaculoase, printre care se exemplifică reducerea consumului specific pentru producerea amoniacului de la 1730 kWh/t în anii 1961—1964 la 540 kWh/t în 1970—1971. Scăderi similare s-au înregistrat şi la alte procese tehnologice.

Probleme asemănătoare, dar referindu-se la alte ramuri industriale, sînt tratate în rapoartele 3.19 şi 3.14.

Raportul 3.19 prezintă principalele căi folosite pînă în prezent pentru reducerea consumului de combustibil în industria sticlei şi a ceramicii fine. După ce se enumeră aceste căi, cu detalierea tehnică a soluţiilor de realizare, se indică strategia de urmărit în viitor, cu exemple concrete de aspecte ce se vor studia. Printre acestea citäm : reanalizarea energetică a tehnologiilor, intensificarea recuperării resurselor energetice secundare, optimizarea energetică a construcţiilor şi instalaţiilor tehnologice.

În raportul 3.14 se tratează organizarea fluxului tehnologic în vederea reducerii consumului de energie din industria zahărului. Se exemplifică o serie de măsuri tehnologice care au condus la economii importante de combustibil, cum ar fi : utilizarea combustibililor inferiori în

centralele termice tehnologice, modificări ale instalațiilor etc. Se detaliază de asemenea orientările viitoare.

Reconsiderarea concepției de dimensionare a cablurilor din rețelele electrice uzinale pe baza minimizării pierderilor de energie electrică este tratată în raportul 3.22. După o sinteză a principiilor clasice se propune o metodă de determinare a secțiunii economice, cu exemplificare pe un caz practic.

c) *Metode noi de apreciere a proceselor tehnologice din punctul de vedere al utilizării resurselor energetice*

În această categorie s-au încadrat șapte rapoarte (3.8 — Bulgaria ; 3.13 — R.D. Germană ; 3.17, 3.16 — Polonia și 3.21, 3.15, 3.23 — România).

Raportul 3.8 arată că sistemele termice industriale trebuie tratate în mod complex : economic, energetic și ecologic. În acest sens se prezintă o metodă complexă de investigare, a cărei noutate constă în introducerea factorului ecologic și care permite o alegere optimă a soluției tehnice considerînd toate cele trei aspecte menționate.

În raportul 3.13 se tratează o problemă încă în discuție : definirea unui indicator energetic global al proceselor industriale și utilizarea lui în analiza și optimizarea energetică a tehnologiilor existente sau în fază de proiectare. Această preocupare constituie și subiectul rapoartelor 3.21, 3.17 și 3.15.

În esență, se consideră ca necesară introducerea unui indicator care să caracterizeze întreaga cantitate de energie înglobată într-un produs sau într-un serviciu (energia conținută în materiile prime și materiale, energiile introduse în proces, direct sau indirect, etc.).

Denumirea și definirea acestui indicator este încă diferită, în funcție de autori. Astfel, se propun denumirile de „energie legată" (raportul 3.13), „consum specific complex" (3.21) sau „consum cumulat" (3.15, 3.17), definițiile acestora diferind prin nuanțe de interpretare.

Toate cele patru rapoarte prezintă și metode de calcul al indicatorilor respectivi, precum și modul de aplicare a acestora în calculele de optimizare energetică.

Utilizarea metodelor propuse pe 200 de produse (raportul 3.15) și respectiv 64 produse (3.17) a permis stabilirea unor concluzii interesante privind adoptarea diferitelor tehnologii și a rentabilității energetice a produselor analizate.

Rapoartele 3.16 și 3.23 tratează o problemă actuală, și anume cea a influenței economice a perturbațiilor în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali.

În raportul 3.16, după o analiză critică a metodelor cunoscute pentru determinarea caracteristicilor de cheltuieli în funcție de tensiunea de alimentare, se propune o metodă nouă de stabilire a cheltuielilor suplimentare produse de perturbații ale tensiunii. Metoda propusă a fost verificată experimental la o unitate industrială.

Raportul 3.23 propune o metodă de alegere optimă a alimentării cu energie a întreprinderilor industriale, care consideră corelarea gradului de siguranță în alimentare cu cheltuielile de exploatare (inclusiv pierderile de energie) în diferite variante posibile.

Probleme supuse dezbaterilor în Secția a 3-a

În baza profilului tematic al Secției a 3-a și a variatelor aspecte tratate în rapoarte, ne permitem să propunem ca dezbaterile să se axeze pe următoarele direcții principale :

— linii directoare în politica energetică în industrie (pentru cercetare, proiectare, execuție și exploatare) ;

— metode de estimare cantitativă a utilizării energiei și combustibililor în diferitele ramuri industriale ;

— metode complexe (bazate pe considerente de economie de energie și combustibil, de asigurare a continuității în funcționarea proceselor, de menținere a echilibrului ecologic etc.) care să furnizeze reglementări tehnice pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor energetice industriale ;

— sisteme informațional-organizatorice în energetica industrială destinate analizei și optimizării consumului ;

— procedee de reducere a consumului de energie și combustibil în industrie ;

— rezultate obținute în gospodărirea rațională a energiei și combustibililor în industrie.

Consumurile de fază și cumulate de resurse energetice pentru unele produse industriale

Radu Burbea
Viorica Răducanu
Rodica Miroiu
Gabriela Nertea *)

Cercetarea modalităților de perfecționare a producției pe ramurile și subramurile industriei necesită, printre alte aspecte, și analizarea influenței factorului de consum energetic ca o componentă a consumului de resurse materiale.

În cadrul problematicii generale energetice, stabilirea consumurilor cumulate de resurse energetice aferente unui număr de produse industriale oferă posibilități de îmbunătățire a elementelor de referință privind noțiunea de consum cumulat de resurse. Totodată ea face posibilă valorificarea dintr-o perspectivă cuprinzătoare a utilizării relațiilor cantitative și calitative ce se stabilesc între consumurile energetice în dimensionarea producției ramurilor industriei, precum și capacitatea indicatorului de consum cumulat de a oferi elemente noi de teorie și practică economică.

1. Din datele culese nemijlocit din unități productive s-au efectuat calcule de consum cumulat energetic pentru un număr de circa 200 produse industriale finale sau utilizate ca elemente de cooperare. Selectarea acestora a fost determinată, pe de o parte, de necesitatea asigurării unor informații privind produsele importante din economia națională, inclusiv cele care au pondere în schimbul internațional, iar pe de altă parte de necesitatea evidențierii gradului de difuzare în subramurile industriei a produselor metalurgiei primare, mari purtătoare de consumuri energetice. De asemenea, s-a urmărit ca produsele selectate, prin înlănțuirea tehnologică în care se înscriu, să asigure compararea nivelurilor referitoare la consumul energetic direct pe produs și cel rezultat din fluxurile interramuri. În conținutul energetic al unui produs, spre deosebire de calculele efectuate în mod uzual, s-a inclus, pe lîngă consumul din procesele tehnologice ale fazei finale, și cel înmagazinat anterior în procesele productive de fabricație a materiilor prime și materialelor (inclusiv transportul acestora de la furnizor). De asemenea s-a cuprins și cota-parte din energia consumată pentru fabricarea mijloacelor fixe și a obiectelor de inventar (inclusiv repararea acestora) ce participă la fabricarea produsului analizat și transmisă acestuia prin uzură.

Resursa energetică, prin prezența ei în toate activitățile productive, întrunește calitățile unei unități de măsurare a întregului efort material depus în procesul productiv (prin puterile calorifice ale fiecărei forme de energie). În această accepțiune, noțiunea de consum energetic își extinde cuprinsul la evaluarea tuturor eforturilor materiale dintr-un produs. Consumul energetic de fază sau cumulat poate constitui astfel un element de comensurare comparativă între produse. Din acest punct de vedere, consumul energetic se aseamănă cu efortul productiv prezentat de manoperă, și ea omniprezentă în procesele productive, dar cu un avantaj evident față de manoperă, și anume avantajul de a putea fi măsurat exact și convenționalizat pe baze exacte, indiferent ce forme ar îmbrăca, aspect sub care măsurarea efortului uman rămîne deficitară. Chiar excluzînd evaluările prin prețuri (cu întreaga lor problematică), utilizarea indicatorului om-oră pentru măsurarea manoperei necesitate de mai multe produse nu oferă posibilitatea comparării lor exacte, datorită conținutului diferit de esență și nivel de îndemînare a manoperei încorporate. Deci energia, prin situația mai sus menționată, întrunește calitățile unei perfecte unități de măsurare a tuturor eforturilor materiale depuse în procesele productive, permițînd compararea conținutului energetic al produselor și constituind o bază de apreciere a efectelor obținute. Aceleași calități în măsurarea eforturilor productive materiale se mențin și în evaluările de resurse și produse ce fac obiectul schimburilor internaționale.

În această accepțiune, consumul cumulat de resurse energetice aduce o noutate informațională demnă de reținut.

2. Stabilirea modalităților de efectuare a calculelor de consumuri cumulate de resurse energetice pentru unele produse ale industriei are la bază abordarea sistemică a relațiilor de dependență directă și indirectă dintre ramurile industriei și produsele ei. Fiecare subramură a industriei poate fi privită ca un sistem de sine stătător, cu relații directe, în care produsele altor ramuri sau subramuri sînt privite ca intrări, iar propriile sale produse finale ca ieșiri, o parte din acestea reîntorcîndu-se sub forma mijloacelor fixe în cadrul sistemului. În diagrama din figura 1 sînt evidențiate relațiile principale decurgînd din procesele tehnologice de fabricație ale unor produse industriale. Analiza acestei diagrame evidențiază în mod deosebit relațiile privind consumurile energetice existente între principalele ramuri ale industriei (constructoare de mașini, metalurgică, extractivă etc.). Determinarea consumurilor cumulate de resurse energetice pentru alte produse ale industriei constructoare de mașini necesită calcule asemănătoare pentru o multitudine de produse metalurgice. Se remarcă astfel apelul deosebit al metalurgiei la efortul energetic național.

*) Autorii sînt cercetători științifici în cadrul Institutului de economie industrială.

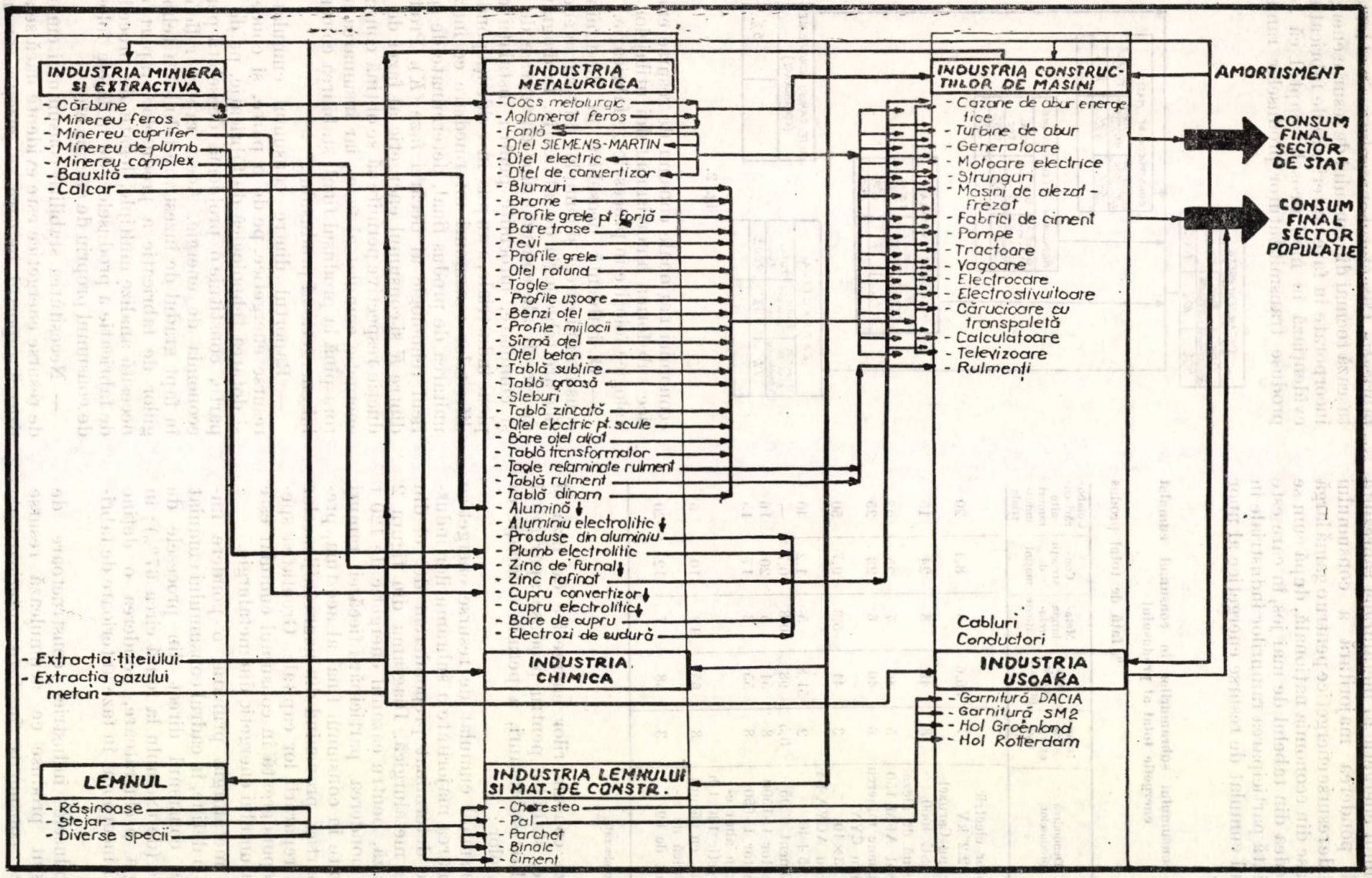


Fig. 1. Diagrama-bloc de relații între produsele industriei.

Consumul energetic al metalurgiei reprezintă de fapt ponderea majoritară a consumului cumulat de resurse energetice pentru o gamă largă de produse din economia națională, după cum se poate vedea din tabelul de mai jos, în care este evidențiată participarea ramurilor industriale în consumul cumulat de resurse energetice al unor produse.

Ponderea consumului subramurilor în consumul cumulat energetic total al produsului

% față de total produs

Nr. crt.	Denumirea produselor	Industria extractivă	Metalurgia primară	Metalurgia prelucrătoare	Construcții de mașini	Colaborări cu alte ramuri industriale
1	Motor electric 2,2 kV	7	56,6	8	8,4	20
2	Strung Carusel SC 4000	8	45	8	24	15
3	Mașină de alezat frezat AFM 150	5	40	7	25	23
4	Vagoane minereu	6	40	6	23	25
5	Cablu CYY 3×10	3	41	5,3	0,7	50
6	Cablu ACYA bY 3×95+40	2	51,8	5	1,2	40
7	Rulment 6205	0,5	98	0,8	0,7	—
8	Tractor U-1500	8	51	5	20	16
9	Tractor U-650	8	55	3	17	15
10	Cazan abur energetic 120 t/h abur, cu păcură	8	65	12	10	5
11	Fabrică de ciment de 69 t	3	58	7	12	20

Sursa: date prelucrate.

Analiza consumurilor energetice de fază și cumulate, stabilite pentru produse aparținînd mai multor subramuri, a permis evidențierea următoarelor:

— Consumul cumulat de resurse energetice pentru marea majoritate a subramurilor industriei este determinat preponderent de cel din industria metalurgică. Diagrama din figura 2 evidențiază, pentru cazanul energetic de 120 t abur/h, ponderea participării fiecărei ramuri din amonte în consumul final al acestuia, precum și partea provenind din uzura mijloacelor fixe și a reparării lor capitale. Greutatea specifică preponderentă în consumul cumulat este cea a consumului energetic din metalurgie.

— În metalurgia primară, o pondere importantă o deține, în cadrul consumului cumulat energetic, consumul direct din procesele de fabricație (de exemplu la fontă circa 67%); în metalurgia prelucrătoare, ponderea o deține consumul încorporat în faze anterioare de fabricație.

— Produsele industriei constructoare de mașini sînt produse ce acumulează resurse energetice consumate în faze anterioare de fabricație. Caracterul energointensiv al lor se detașează tocmai din cumulul de resurse energetice încorporate în faze anterioare de fabricație. Se evidențiază în mod deosebit faptul că aceste produse transmit tuturor produselor ramurilor

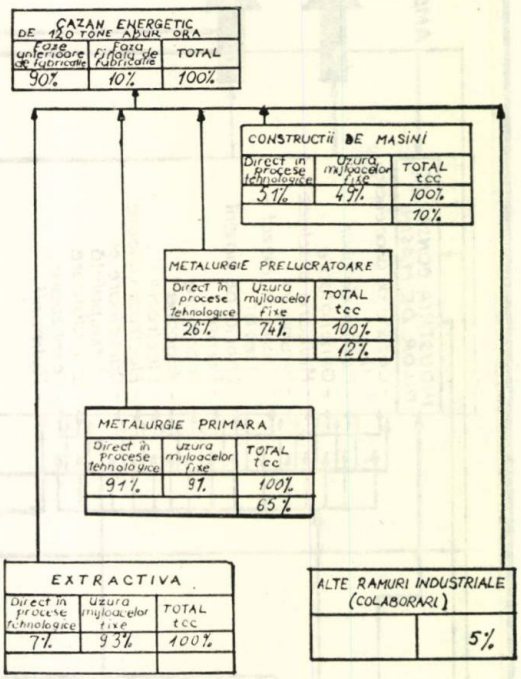


Fig. 2.

economiei naționale consum de resurse energetice sub forma amortismentului utilajelor tehnologice folosite în procesele de fabricație.

— O influență deosebită în determinarea consumului direct și cumulat de resurse energetice are tehnologia de fabricație. În diagramele de circuit ale consumurilor energetice de fază și cumulate, întocmite pentru instalații complexe industriale, s-au pus în evidență ponderile diferitelor consumuri intermediare ce intră în unitatea de produs final, determinate de specificul tehnologic al fiecărei faze (K). Produsul dintre K și consumul energetic al fazei de producție respective permite să se obțină consumul energetic cumulat al fazei, iar însumarea acestora pînă la produsul final, stabilirea consumului energetic al produsului.

— Raportul dintre consumul cumulat de resurse energetice, pe de o parte, și concepția și dotarea tehnologică de fabricație, pe de altă parte, constituie o problemă deosebită pentru economia de energie. Acest raport reliefează în fapt gradul de înzestrare tehnică a tehnologiilor de fabricație a produselor, raport care necesită analize multiple, legate de procedeele de fabricație a produselor, de utilajele folosite, de consumul propriu de energie etc.

— Necesitatea stabilirii consumului cumulat de resurse energetice este evidentă dacă se analizează raportul în care se găsește consumul

cumulat de resurse energetice față de consumul de fază finală pentru un produs. Acest raport variază în industria construcțiilor de mașini între 1,1 și 16 ; în metalurgia feroasă, între 1 și 23,9 ; în metalurgia neferoasă, între 1,2 și 75,9 ; în industria lemnului, mobilei și materialelor de construcții, între 1 și 2,1. Aceste rapoarte evidențiază în fapt că, în evaluarea necesarului energetic pentru fabricarea unui produs, este nevoie de cunoașterea nu numai a consumului din faza finală de fabricație, ci și a consumului cumulat de la resursa naturală la produsul final, cu exprimarea în unități fizice. De o deosebită importanță este și urmărirea acestui raport pe elemente de calcul ale consumului cumulat. Un exemplu semnificativ îl prezintă oțelul obținut prin procedeul Martin, la care, pe capitole de consum, acest raport se prezintă astfel : 112,2 la energia electrică, 27 la gaz metan, 1,2 la țiței și 5,9 pe total.

— Metodologia utilizată în cadrul lucrării a permis determinarea consumurilor cumulate pentru un număr limitat de produse reprezentative ale economiei naționale. Pe ansamblul economiei, consumurile cumulate pot fi urmărite și analizate și cu ajutorul bilanțurilor energetice, în condițiile însumării consumurilor energetice pe produse, stabilite prin acestea.

3. Calculul consumului energetic prezintă un interes deosebit în aprecierea rentabilității exportului de produse, evidențiind gradul de recuperare a valorii resurselor energetice încorporate în produse, precum și aportul net valutar obținut din exportul produselor respective. Pentru aprecierea rentabilității exportului produselor, privite prin prisma consumurilor energetice, se utilizează prețurile de tranzacție internaționale ale fiecărei forme de energie în parte (energie electrică, gaz metan, țiței). Diferența dintre prețul extern și valoarea energiei cumulate, exprimată în dolari, precum și raportul dintre acestea se propun ca indicatori specifici ai rentabilității exportului. Se asigură astfel posibilitatea unei evaluări exacte a efortului energetic încorporat în produs și rentabilitatea schimbului extern din acest punct de vedere.

Analiza rentabilității schimbului internațional prin luarea în considerare a consumului energetic oferă o bază certă a exprimării eforturilor din produsul intern. Ea înlătură unele deficiențe manifestate de analiza efectuată în mod curent, care se datoresc în principal modului diferit de evaluare prin prețurile interne și externe ale resurselor materiale, felului diferit în care se reflectă în valoarea internă și externă caracterul deficitar și de utilitate a diverselor resurse.

Totodată nu trebuie trecut cu vederea că procedeul în vigoare, potrivit căruia aportul net valutar se stabilește prin deducerea din prețul extern a evaluării în prețuri internaționale de tranzacție ($ S.U.A.) a cantităților de materii prime și materiale exportabile, asigură și baza de apreciere a rentabilității exportului din punct de vedere energetic, cunoscut fiind că prin prețul internațional de tranzacție se acoperă cheltuielile de energie consumată pentru fabricarea produsului. Față de acest calcul, cel propus, care realizează estimarea materialelor exportabile prin evaluarea în prețurile curente a consumului energetic cumulat, prezintă avantajele precizării exacte a raportului în care se face recuperarea energiei consumate.

4. Din analiza consumurilor cumulate de resurse energetice pe produse s-au deprins unele considerații de ordin general, cu referire la conținutul său informațional și la posibilitatea folosirii acestui indicator la structurarea producției industriale, și anume :

— Compararea energiilor consumate și încorporate în diverse produse nu poate forma singură un criteriu de opțiune în fabricarea unui produs sau a altuia, ea putînd acționa ca principal criteriu numai între produse ce satisfac aceeași necesitate.

— Informarea oferită de consumul energetic cumulat, în concordanță cu ceilalți factori care fundamentează deciziile privind structurarea producției industriale, este limitată de configurația legăturilor celor mai importante între marii consumatori de resurse energetice (producția de energie electrică ca consumator de resurse energetice primare, siderurgia, chimia). Deci acțiunile pentru reducerea consumurilor energetice trebuie să vizeze acest sîmbure central, producția de energie electrică, semifabricatele din oțel și feroase, înlocuitorii din materiale sintetice.

— Gradul de încărcare energetică pe tona de produs crește odată cu numărul fazelor intermediare parcurse. Oricît de eficiente pot fi măsurile de reducere a consumului energetic dintr-o anumită fază, consumul cumulat pe tona de produs păstrează sensul de creștere. Acesta poate fi staționar sau descrescător numai în măsura în care în anumite faze intermediare de producție se includ semifabricate cu o încărcătură energetică cumulată inferioară fazelor anterioare.

— Deoarece consumul energetic cumulat este o componentă omniprezentă în procesele productive, iar măsurarea sa corectă este posibil de asigurat, consumul energetic constituie sub forma lui directă sau cumulată un element de comensurare comparativă între produse la formarea prețurilor, mai concludent decît alte elemente de referință. Așa cum sînt stabilite în prezent, prețurile diferitelor produse finale și intermediare nu reflectă în majoritatea cazurilor dinamica consumurilor cumulate ; criteriile de diferențiere a rentabilității urmăresc în primul rînd promovarea cantitativă a producției, fără să aibă în vedere stimularea reducerii consumurilor energetice. La majoritatea pro-

duselor intermediare și finale nu există apropierea necesară între gradul de valorificare prin preț și cel de încărcare energetică.

— Diagramele întocmite pentru unele produse importante, prin coeficienții de transformare de la fază la fază, furnizează elemente privind participarea consumurilor energetice din fiecare ramură la consumul pe produs. Detaliile pe principalele elemente de consum (materii prime, materiale, costuri de transport, uzura mijloacelor fixe și a obiectelor de inventar, consum tehnologic etc.), din diferitele faze productive, permit o reconsiderare a necesarului energetic în funcție de dinamica volumului producției sau ca urmare a îmbunătățirii nivelelor de randament energetic din fazele producției.

— În sensul celor arătate, consumurile energetice cumulate se impun ca un indicator ce poate facilita calculele de planificare și acoperire cu resurse energetice, precum și reașezarea nivelelor de consum energetic pe ramuri și subramuri în ipoteza unor modificări în ponderea principalelor produse industriale. De asemenea, consumurile energetice cumulate se dovedesc un instrument util în studierea strategiei de îmbunătățire a tehnologiilor de producție.

Organizarea fluxului tehnologic în scopul reducerii consumului de energie electrică în industria zahărului

Ing. V. Panțuru *)

Industria prelucrării sfeclei de zahăr a cunoscut în ultimii ani, la fel ca întreaga viață economică și socială din România socialistă, un puternic avînt, mărindu-și an de an producția.

Astfel, dacă în 1956 erau 7 fabrici de zahăr cu o producție de 151 000 tone, în 1960 9 fabrici cu o producție de 390 000 tone, în 1970 erau 13 fabrici cu o producție de zahăr de 400 000 tone, iar în 1980 vor fi 17 fabrici de zahăr cu o producție de 950 000 tone (fig. 1).

Creșterea deosebită a producției de zahăr s-a făcut pe două căi principale: prin creșterea numărului de capacități de prelucrare (și creșterea suprafețelor cultivate cu sfeclă de zahăr) și prin creșterea producției la capacitățile existente.

Dezvoltarea industriei de prelucrare a sfeclei de zahăr s-a făcut pe baza importului, ajungîndu-se astfel la următoarele grupe de fabrici:

— după concepție și dotare franceză;

— după concepție și dotare BMA-R.F.G.;

— după concepție și dotare DDS-R.P.P.

Fiecare grupă prezintă particularități deosebite, ceea ce le face să se deosebească foarte mult.

În principiu, însă, procesul tehnologic se desfășoară după schema generală redată în figura 2.

Procesul tehnologic de prelucrare a sfeclei de zahăr este un mare consumator de energie. Astfel, o fabrică de zahăr consumă pe o campanie, în medie, 300 000 Gcal și 22 000 MWh.

*) V. Panțuru este inginer energetic în cadrul Centralei producției și industrializării sfeclei de zahăr.

Acest lucru a determinat o intensă acțiune, din partea specialiștilor industriei zahărului, de stabilire a măsurilor eficiente de raționalizare a consumurilor energetice.

De asemenea industria zahărului este o industrie sezonieră, datorită faptului că sfecla de zahăr — materie primă — se recoltează într-un

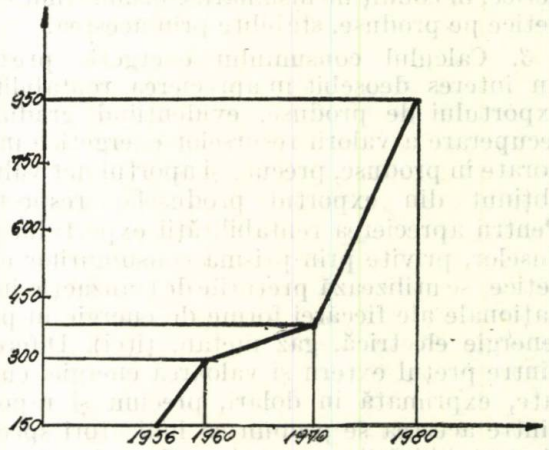


Fig. 1

timp relativ scurt, în genere o perioadă de maximum o lună de zile. Sub acțiunea unor procese biochimice, apar fenomene de degradare, care se manifestă prin reducerea conținutului de zahăr, micșorarea cîtului de puritate și apariția unor transformări care provoacă greutăți în procesul de prelucrare, determinînd reducerea capacității de prelucrare și mărind consumul de utilități, în special de energie termică și electrică, reducîndu-se randamentul în zahărul obținut.

Cu cît conținutul de zahăr al sfeclei este mai scăzut, pentru obținerea unui kg de zahăr trebuie să se evapore o cantitate mai mare de apă și, ca o consecință, să se mărească consumul de energie termică pentru obținerea unui kg de zahăr sau pentru prelucrarea unității de cantitate de sfeclă.

Cu scăderea conținutului de zahăr din sfeclă se poate ajunge ca extragerea lui să devină neeconomică, sau cînd scăderea este prea mare se poate ajunge chiar la situații în care costul energiei termice să devină superior valorii ce se poate obține pentru zahărul obținut.

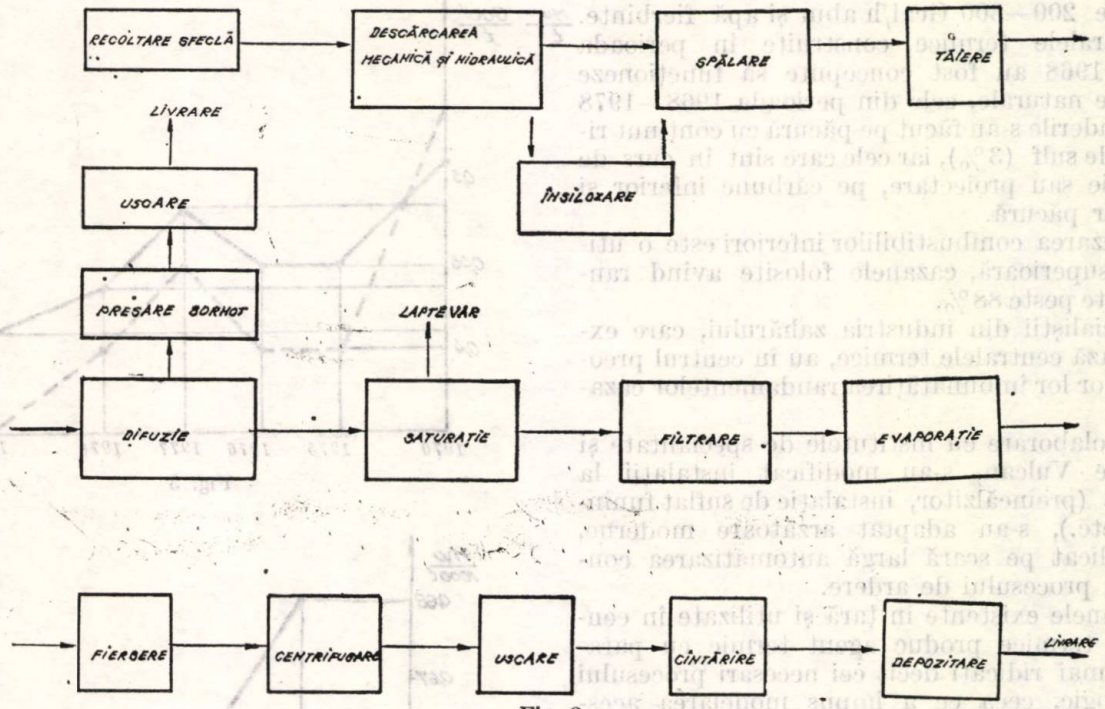


Fig. 2

Însuși procesul tehnologic aplicat și instalația în sine influențează consumul de energie termică dintr-o fabrică de zahăr. O influență însemnată asupra mărimii consumului de energie termică o are stația de evaporare, prin numărul de efecte, prin poziția și cantitatea prelevărilor luate pentru scopuri de încălzire în alte părți ale procesului tehnologic.

De asemenea, o influență importantă asupra consumului de energie termică raportat la unitatea de cantitate de sfeclă, respectiv de zahăr obținut, o are și conținutul de substanță uscată (brixul) al zemii groase, la trecerea de la stația de evaporare spre secția de rafinărie. Scăderea brixului zemii groase la ieșirea din stația de evaporare, datorită reducerii cantității de apă evaporată, are o consecință negativă asupra consumului de energie termică în rafinărie, unde trebuie să se elimine surplusul de apă și unde consumul de energie termică pe kg apă evaporată este mult mai mare (circa 1,1 kg abur/kg apă evaporată, în timp ce în stația de evaporare este de 0,25—0,4 kg abur/ kg apă evaporată).

Cele enumerate arată cît de complexă este problema stabilirii teoretice a consumului de energie raportată la unitatea de cantitate de sfeclă, respectiv de zahăr într-o fabrică de zahăr. Și mai complexă este problema variației consumului de energie de-a lungul unei campanii de fabricație, perioadă în care calitatea sfeclei variază.

În literatura de specialitate nu s-au găsit date concrete care să permită determinarea consumului specific de energie de-a lungul campaniei. Singura deducție valabilă din datele ce se găsesc în literatură este că consumul de energie termică scade liniar cu creșterea conținutului de zahăr, respectiv de substanță uscată din sfeclă, crește liniar cu creșterea sutirajului și scade liniar cu creșterea cîtului de puritate la același conținut de zahăr.

Pe lîngă problemele ridicate, o importanță deosebită o au parametrii agentului termic.

Variația mare a temperaturii aburului de alimentare este un element care produce o perturbare însemnată în funcționarea stației de evaporare în ansamblu și în special în primele efecte unde evaporarea trebuie să fie mult mai mare.

O scădere a temperaturii medii a aburului de alimentare cu 4 grade, față de o diferență totală de temperatură în stația de evaporare și față de o diferență utilă de temperatură de 28 grade, cît a fost proiectată stația, atrage scăderea capacității de evaporare în medie cu :

$$\frac{4}{28} \times 100 = 14{,}3\,\%$$

Avîndu-se în vedere condițiile descrise mai sus, la proiectarea și construirea fabricilor de zahăr, s-a mers pe ideea de a se utila fiecare

fabrică cu centrală termică proprie, pentru a se asigura, în condiţiile impuse, agentul termic necesar.

Pentru că aceste fabrici s-au construit în zonele industriale ale localităţilor, centralele termice s-au extins, marea lor majoritate devenind centrale termice mari, cu capacităţi instalate de 200—300 Gcal/h abur şi apă fierbinte.

Centralele termice construite în perioada 1950—1968 au fost concepute să funcţioneze pe gaze naturale, cele din perioada 1968—1978 şi extinderile s-au făcut pe păcură cu conţinut ridicat de sulf (3%), iar cele care sînt în curs de execuţie sau proiectare, pe cărbune inferior şi auxiliar păcură.

Utilizarea combustibililor inferiori este o utilizare superioară, cazanele folosite avînd randamente peste 88%.

Specialiştii din industria zahărului, care exploatează centralele termice, au în centrul preocupărilor lor îmbunătăţirea randamentelor cazanelor.

În colaborare cu institutele de specialitate şi Uzinele Vulcan, s-au modificat instalaţii la cazane (preîncălzitor, instalaţie de suflat funingine etc.), s-au adaptat arzătoare moderne, s-a aplicat pe scară largă automatizarea conducerii procesului de ardere.

Cazanele existente în ţară şi utilizate în centralele termice produc agent termic cu parametri mai ridicaţi decît cei necesari procesului tehnologic, ceea ce a impus modelarea acestora prin intermediul staţiilor de reducere-răcire (SRR).

În industria zahărului, în perioada de pînă în 1970 s-a utilizat, în loc de SRR, producerea combinată de energie termică şi electrică şi folosirea în procesul tehnologic a aburului rezultat din treptele turbinei.

Această idee a fost abandonată ulterior de către proiectant, pe motivul că metoda nu este rentabilă.

Cei care lucrează efectiv în industria zahărului consideră eficientă producerea combinată a energiei termice şi electrice, avînd în vedere specificul centralelor termice şi parametrii agentului termic necesar în fabricile de zahăr.

Acţiunea măsurilor de raţionalizare s-a extins şi asupra procesului tehnologic de prelucrare a sfeclei de zahăr.

Dinamica consumurilor pe perioada 1975—1980 la prelucrarea sfeclei este ilustrată în figura 3.

Din analiza acestei dinamici se constată scăderea normelor de consum, deci creşterea eficienţei utilizării energiei termice şi electrice.

Unele dintre măsurile aplicate sînt următoarele:

— Utilizarea descărcării hidraulice a sfeclei din mijloace de transport auto, în locul sau în paralel cu descărcarea mecanică. Această măsură a dus la creşterea capacităţii de descărcare şi reducerea consumului de energie electrică prin utilizarea apei recirculate. Eficienţa economică este dată de dinamica normei de consum de energie electrică pentru descărcarea sfeclei (fig. 4) şi de creşterea capacităţii de descărcare (fig. 5).

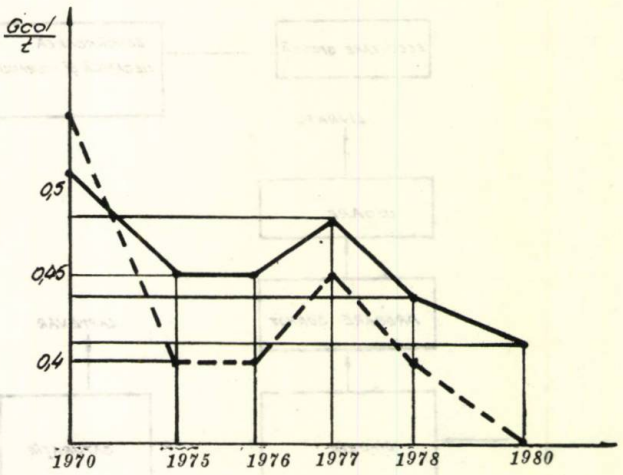


Fig. 3

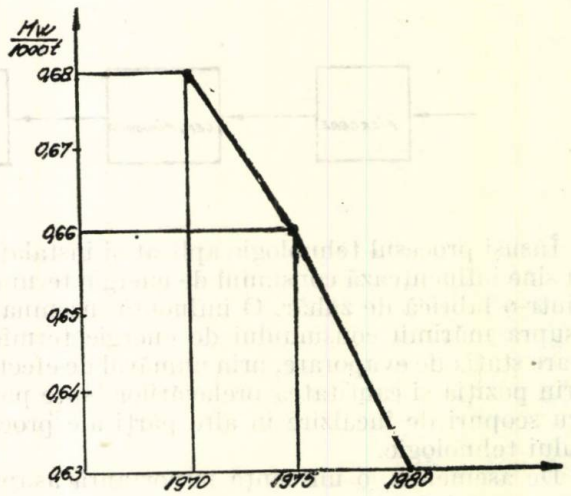


Fig. 4

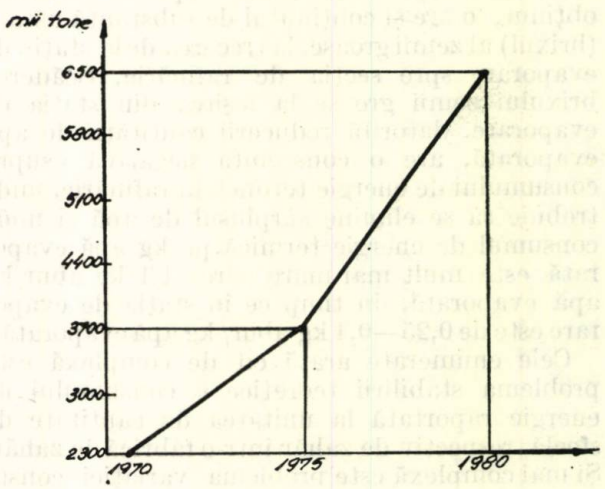


Fig. 5

— Îmbunătăţiri aduse procesului de tăiere prin utilizarea cuţitelor frezate în locul celor de tip Goller. Această metodă a determinat îmbunătăţirea calităţii tăiţeilor de sfeclă, ducînd la mărirea gradului de extracţie a zahărului şi astfel reducîndu-se consumul de energie termică.

Cuţitele frezate au următoarele avantaje :

— fiind realizate prin frezare, pasul obţinut este constant, încadrîndu-se în toleranţe foarte strînse ;

— sînt rigide şi nu se deformează pe timpul funcţionării normale ;

— avînd pas constant, se pot utiliza maşini-unelte speciale de ascuţit şi îndreptat, care mecanizează aceste operaţii ;

— montarea cuţitelor în casetă este simplă, făcîndu-se direct, prin intermediul unor şuruburi speciale.

— Determinarea de norme de consum pe fluxul tehnologic fundamentate ştiinţific şi şi urmărirea acestora. Eficienţa acestei măsuri este dată de evoluţia normei de consum integrat de energie (fig. 6).

— Întocmirea periodică a bilanţurilor energetice şi realizarea măsurilor cuprinse în acestea. Dinamica normei de rest consum demonstrează eficienţa măsurii aplicate (fig. 7).

Pe lîngă măsurile care sînt în studiu la institutele de cercetare şi proiectare specializate în industria zahărului şi care privesc modificările

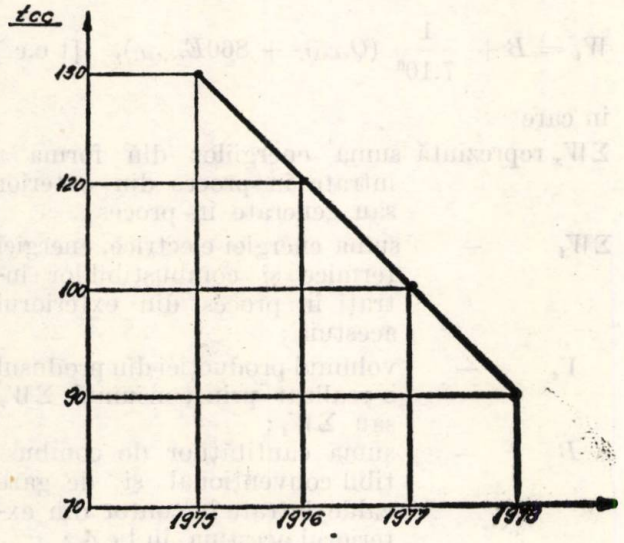


Fig. 6

tehnologiilor de fabricaţie, specialiştii centralei zahărului urmăresc punerea în aplicare a unor măsuri imediate cu eficienţă ridicată :

— Reamplasarea în flux pe verticală a instalaţiilor din procesul tehnologic, aceasta impunînd folosirea căderii gravitaţionale şi astfel eliminarea recirculărilor cu pompe centrifugale. Aplicarea acestei măsuri ar determina reducerea puterii instalate în secţia brut cu 400 kW şi a consumului de energie termică prin micşorarea staţionărilor cu 5%.

— Creşterea numărului de corpuri de evaporaţie şi a efectului de evaporare, determinînd

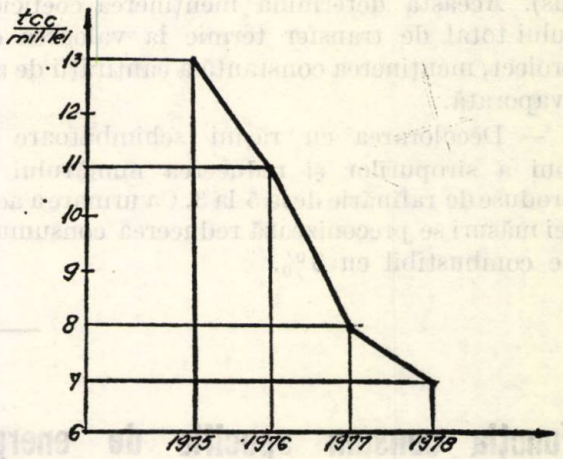


Fig. 7

scăderea consumului de abur şi utilizarea integrală a aburului primar şi secundar.

Elementele care vor duce, pe această cale, la reducerea consumului de energie termică sînt :

a) Concentrarea zemii brute pînă la 70 grade Bx, ceea ce va atrage reducerea consumului de apă, care se va evapora în rafinărie, şi în consecinţă reducerea necesarului de prelevări.

b) Renunţarea la prelevări de la efectul 1, exceptînd-o pe cea pentru preîncălzirea în treapta I a zemii, dar reducînd-o şi pe aceasta ca mărime prin împărţirea ei în două, o parte fiind preluată de abur care se prelevă de la efectul 2.

Această variantă ar putea duce la evaporarea unei cantităţi mai mari de apă şi ca o consecinţă ar asigura posibilităţile de mărire a capacităţii de prelucrare a fabricii fără mărirea

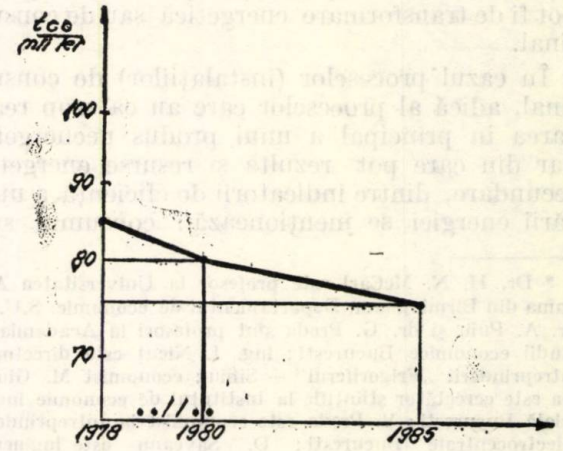


Fig. 8

consumului de energie termică raportat la 100 kg sfeclă. Prin această metodă se poate reduce consumul de energie termică pînă la 20%.

— Introducerea instalației de decalcifiere a zemurilor înainte de evaporație — decalcifiere cu regenerarea rășinilor în circuit închis (Grillus). Aceasta determină menținerea coeficientului total de transfer termic la valoarea din proiect, menținerea constantă a cantității de apă evaporată.

— Decolorarea cu rășini schimbătoare de ioni a siropurilor și reducerea numărului de produse de rafinărie de la 5 la 3. Ca urmare a acestei măsuri se preconizează reducerea consumului de combustibil cu 3%.

— Utilizarea condensatului pentru încălzire.

Eficiența măsurilor preconizate este dată de dinamica consumului specific de combustibil pe perioada 1980—1985 (fig. 8).

În concluzie, cu toate că este extrem de complicat să se facă o apreciere clară pentru a se stabili un flux tehnologic optim, deoarece aceasta ar trebui să respecte o serie de condiții, care în unele cazuri sînt antagoniste, s-au întreprins și se întreprind acțiuni cu scopul de a optimiza consumurile. Rezultatele obținute pînă în prezent sînt o garanție pentru viitor în acțiunea complexă de raționalizare a consumurilor de energie.

Funcția consum specific de energie în cazul proceselor (instalațiilor) de consum final

Prof. dr. **H.N. McCarl**, prof. dr. **A. Puiu**, prof. dr. **G. Preda**, ing. **I. Nicuț**, ec. **M. Giuvelea**, ec. **V. Preda**, ing. **D. Săveanu***)

1. Determinarea și variația consumurilor specifice de energie

Caracterizarea eficienței utilizării energiei la nivel microeconomic (agregat, instalație, secție, întreprindere etc.) se face folosindu-se un ansamblu de indicatori, și anume: randamente energetice și consumuri specifice de energie, a căror valoare trebuie să tindă să devină maximă în primul caz și minimă în cel de-al doilea caz.

Indicatorii de eficiență arătați se clasifică în funcție de natura proceselor (instalațiilor) care pot fi de transformare energetică sau de consum final.

În cazul proceselor (instalațiilor) de consum final, adică al proceselor care au ca scop realizarea în principal a unui produs neenergetic, dar din care pot rezulta și resurse energetice secundare, dintre indicatorii de eficiență a utilizării energiei se menționează: consumul specific de energie de forma x pentru realizarea unei unități din produsul z, $C_{x/z}$ și consumul specific complex total de energie pentru realizarea unei unități din produsul z, $C_{complex\ tot./z}$.

Acești indicatori pot fi calculați cu ajutorul relațiilor:

$$C_{x/z} = \frac{\Sigma W_x}{V_z}$$

$$C_{complex\ tot./z} = \frac{\Sigma W_i}{V_z}$$

$$W_i = B + \frac{1}{7.10^6}\,(Q_{et.ext.} + 860E_{ee.ext.}), \quad [\text{t c.c.}]$$

în care

ΣW_x reprezintă suma energiilor din forma x intrate în proces din exterior sau generate în proces;

ΣW_i — suma energiei electrice, energiei termice și combustibililor intrați în proces din exteriorul acestuia;

V_z — volumul producției din produsul z realizat prin consumul ΣW_x sau ΣW_i;

B — suma cantităților de combustibil convențional și de gaze calde intrate în contor din exteriorul acestuia, în t c.c.;

$Q_{et.ext.}$ — energia termică intrată în contor din exteriorul acestuia, în kcal;

$E_{ee.ext.}$ — energia electrică intrată în contor din exteriorul acestuia, în kWh.

Acești doi indicatori de consum pot fi exprimați și exergetic, în locul cantităților de energie luîndu-se cantitățile corespunzătoare de exer-

* Dr. H. N. McCarl este profesor la Universitatea Alabama din Birmingham, Departamentul de economie, S.U.A.; dr. A. Puiu și dr. G. Preda sînt profesori la Academia de studii economice București; ing. I. Nicuț este director al întreprinderii „Frigoriferul" — Sibiu; economist M. Giuvelea este cercetător științific la Institutul de economie industrială București; V. Preda este economist la Întreprinderea Electrocentrale București; D. Săveanu este inginer la Întreprinderea de echipamente periferice București.

gie, astfel :

$$C_{x/z}^{(ex^*)} = \frac{\Sigma E_x}{V_z}$$

$$C_{complex.tot./z}^{ex.} = \frac{\Sigma E_i}{V_z}$$

Consumurile specifice de energie sînt mărimi variabile, depinzînd de gradul de încărcare (productivitatea A, sarcina) la care lucrează şi de unii parametri interni sau externi, $p_1, p_2 \ldots$, ai procesului de producţie considerat.

Se pot trasa astfel curbe după care variază consumurile specifice de energie c^{**}) :

$$c = \psi(A)$$

$$c = \psi(A, p_{1j}, p_{2k}, \ldots),$$

curbe care poartă denumirea de caracteristci energetice derivate.

Caracteristicile energetice derivate permit determinarea regimului optim de funcţionare prin stabilirea mărimii sarcinii şi a mărimilor celorlalţi parametri care conduc la randamentul maxim şi consumul specific minim.

Pe baza bilanţurilor energetice pot fi determinate absolut analog caracteristici energetice, primare şi derivate, de mare utilitate.

Referindu-ne în mod concret la energia electrică, determinarea consumului specific al acesteia, c, se face cu ajutorul raportului

$$c = \frac{W}{V_z},$$

în care W reprezintă cantitatea de energie electrică consumată de o instalaţie, secţie, întreprindere etc., într-o perioadă de timp.

Împărţind numărătorul şi numitorul acestui raport la perioada de timp considerată t_c, se obţine consumul specific ca un raport între puterea medie, P_{med}, şi productivitate medie, A_{med}, în intervalul de timp considerat :

$$c = \frac{\frac{W}{t_c}}{\frac{V_z}{t_c}} = \frac{P_{med}}{A_{med}}$$

Caracteristica electroenergetică reprezintă variaţia consumului specific de energie electrică în funcţie de volumul producţiei, respectiv de productivitate în perioada de timp considerată (fig. 1).

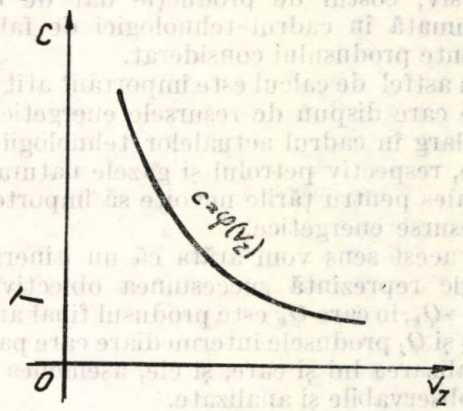


Fig. 1

În afară de volumul producţiei şi de productivitate, factori esenţiali ai variaţiei consumurilor specifice de energie electrică, mai sînt şi alţi factori de care trebuie să se ţină seamă la întocmirea caracteristicilor electroenergetice, şi anume: calitatea materiilor prime, sortimentul producţiei, temperatura mediului ambiant (care depinde de anotimp), parametrii energiei consumate etc.

Ţinînd seama de parametrii interni sau externi procesului de producţie , care influenţează consumul specific de energie electrică, caracteristica electroenergetică va fi reprezentată sub forma unei familii de curbe (fig. 2).

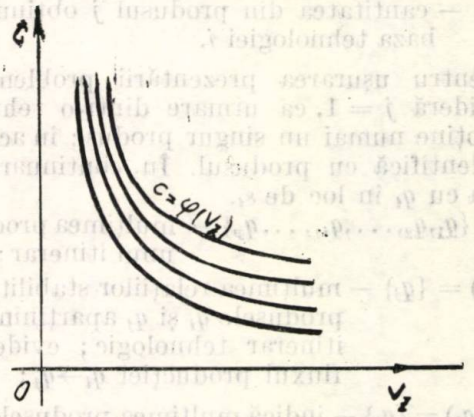


Fig. 2

2. Consumurile specifice cumulate de energie

Cerinţa asigurării unei efeicienţe economice ridicate în comerţul exterior, mai ales pentru produsele energointensive, şi aceasta după declanşarea crizei energetice mondiale din 1973, ale cărei prime trăsături definitorii le constituie creşterea bruscă a preţului petrolului brut, a impus necesitatea determinării consumului specific cumulat de energie.

Prin intermediul acestui consum specific cumulat de energie se poate stabili uşor măsura

*) S-a notat prin *ex.* prescurtarea de la exergetic.

**) Pentru exprimarea consumurilor specifice de energie se va folosi în continuare simbolul general c, în locul simbolizării $C_{x/z}$ sau $C_{complex.tot./z}$.

în care se recuperează, prin prețul obținut pe piața externă pentru un anumit produs energointensiv, costul de producție dat de energia consumată în cadrul tehnologiei de fabricație aferente produsului considerat.

Un astfel de calcul este important atît pentru țările care dispun de resursele energetice utilizate larg în cadrul actualelor tehnologii industriale, respectiv petrolul și gazele naturale, dar mai ales pentru țările nevoite să importe astfel de resurse energetice.

În acest sens vom arăta că un itinerar tehnologic reprezintă succesiunea obiectivă $Q_1 \rightarrow \rightarrow Q_j \rightarrow Q_k$, în care Q_k este produsul final analizat, iar Q_i și Q_j produsele intermediare care participă la realizarea lui și care, și ele, asemenea lui Q_k, sînt observabile și analizate.

Fiecare din produsele Q_i, Q_j, Q_k definesc o fază a itinerarului tehnologic. În timpul procesului de producție, produsele încorporează în ele resurse materiale energetice și forță de muncă. Astfel, un produs Q_k conține în el atît resursele implicate în faza în care ele se realizează, cît și resursele consumate în faza aferentă lui Q_i și Q_j, ca urmare a faptului că Q_j este element de intrare (rezervă) pentru produsul Q_k.

În contextul celor expuse mai sus vom conveni asupra următoarelor notații:

S — sistemul economic;

s_i — element funcțional al lui s cu condiția ca $S = \bigcup_{i=1}^{n} s_1$; el identifică o tehnologie;

q_{ij} — cantitatea din produsul j obținută pe baza tehnologiei i.

Pentru ușurarea prezentării problemei, s-a consideră $j = 1$, ca urmare dintr-o tehnologie se obține numai un singur produs; în acest caz se identifică cu produsul. În continuare vom lucra cu q_i în loc de s_i.

$Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_p\}$ — mulțimea produselor unui itinerar;

$\Gamma(q_i) = \{q_j\}$ — mulțimea relațiilor stabilite între produsele q_i și q_j aparținînd unui itinerar tehnologic; evidențiază fluxul producției $q_i \rightarrow q_j$;

$\Gamma^{-1}(q_i) = \{q_j\}$ — indică mulțimea produselor care participă la obținerea unui produs specificînd tipul de relații $q_j \rightarrow q_i$;

$R^m = \{r_1^m, r_2^m, \ldots, r_i^m, \ldots, r_m^m\}$ — mulțimea resurselor materiale;

$R^e = \{r_1^e, r_2^e, \ldots, r_j^e, \ldots r_e^e\}$ — mulțimea resurselor energetice;

$R_k^l = \{r_1^l, r_2^l, \ldots, r_k^l, \ldots, r_l^l\}$ — mulțimea resurselor de forță de muncă;

$B = \{b\}$ — mulțimea resurselor bănești.

K_{ij} — consumul direct din produsul i pentru a produce o unitate de produs j;

C_{rj} — consumul specific direct din resursa r pentru a se realiza o unitate din produsul j;

$C_{rj}^c(\tau)$ — consumul cumulat din resursa r pentru unitatea din produsul j, în faza τ.

O fază a itinerariului tehnologic este caracterizată de două categorii de resurse consumate:

— resurse consumate în cadrul fazei respective, nominalizînd astfel consumurile directe de resurse materiale, energetice etc.;

— resurse consumate de-a lungul itinerariului tehnologic pînă la această fază, inclusiv ea, semnificînd consumurile cumulate de resurse.

Consumurile directe pe unități de produs se determină, în principiu, prin raportul:

$$C_{ij}(\tau) = \frac{r_j^f}{q_i} \quad \text{cu } f = m, e, l;\ j = 1, \ldots, f;$$
$$i = 1, \ldots, p.$$

Această relație presupune posibilitatea comensurării exacte a cantității de resursă încorporată în produs. În foarte multe dintre cazuri însă, natura proceselor tehnologice, structura, varietatea și calitatea sortotipodimensiunilor complică modul de evidențiere și de calcul al resurselor încorporate într-un produs oarecare.

Consumul cumulat de resurse aferent unei faze se determină cu relația;

$$C_{rj}^c(t) = C_{ri}^c(\tau - 1).\ K_{ij}(\tau) + C_{ij}(t),$$

iar consumul total de resursă r pentru o unitate de produs j, de-a lungul unui itinerar tehnologic, se determină astfel:

$$C_{rj}^c(t) = \sum_{\tau=1}^{t} \sum_{i=1}^{n_i} C_{ri}^c(\tau - 1).\ K_{ij}(\tau) + C_{rj}(t)$$

în care t reprezintă faza finală aferentă produsului j.

3. Eficiența economică a diminuării consumurilor specifice de energie

În acțiunea de diminuare a consumurilor specifice de energie, un rol important îl are analiza acestora.

Sînt puse astfel în evidență rezultatele obținute pe linia reducerii consumurilor specifice de energie, iar pe de altă parte se indică rezervele de reducere a acestor consumuri, deficiențele manifestate în acest domeniu, în unele întreprinderi.

O importanță deosebită o are alegerea corectă a unității de producție, la care se raportează consumul specific de energie, astfel ca cifra

obținută să oglindească just cantitatea de energie necesară produsului respectiv.

Pentru analiza evoluției în timp a consumurilor specifice de energie se folosește, ca metodă principală, metoda indicilor de dinamică a consumurilor specifice de energie.

Astfel, pentru analiza dinamicii consumului specific de energie la un anumit produs realizat de o singură întreprindere, se folosește indicele dinamicii consumului specific I_{cd}, indice care se calculează cu ajutorul relației :

$$I_{cd} = \frac{c_1}{c_0} 100,$$

în care

c_1 reprezintă consumul specific de energie pe unitatea de produs din perioada curentă ;

c_0 — consumul specific de energie pe unitatea de produs din perioada de bază.

Pentru analiza dinamicii consumului specific de energie utilizată pentru un anumit produs fabricat de mai multe întreprinderi sau de o ramură (subramură) economică cu producție omogenă, se folosește indicele $I_{\bar{c}\bar{d}}$, care se calculează cu ajutorul relației

$$I_{\bar{c}\bar{d}} = \frac{\bar{c}_1}{\bar{c}_0} 100$$

în care

$\bar{c}_1$ reprezintă consumul specific mediu de energie în perioada curentă, pe ansamblul unui grup de întreprinderi ;

$\bar{c}_0$ — consumul specific mediu de energie în perioada de bază, pe ansamblul grupului de întreprinderi considerat.

Consumul specific mediu de energie în perioada curentă $\bar{c}_1$, sau în perioada de bază $\bar{c}_0$, se determină prin raportarea consumului total de energie din perioada curentă sau de bază la cantitatea totală de producție dintr-un produs obținută în perioada curentă q_1, sau de bază q_0, luînd în considerare ansamblul întreprinderilor cu producție omogenă.

Se pot calcula și indici ai dinamicii care să exprime gradul realizării normelor de consum de energie pe unitatea de produs realizat de o anumită întreprindere, I_{rn}, astfel

$$I_{rn} = \frac{c_1}{n_c} 100,$$

rapoarte în care n_c reprezintă norma de consum de energie pe care am considerat-o bază și constantă.

Dacă avem de-a face cu un produs fabricat de mai multe întreprinderi sau de o ramură (subramură) economică cu producție omogenă și dacă considerăm că norma de consum de energie rămîne constantă, putem înlocui în raportul I_{rn} numărătorul c_1 cu $\bar{c}_1$.

Este posibil ca și norma de consum de energie să se modifice în timp, putîndu-se urmări astfel și evoluția în timp a acesteia.

Diminuarea consumurilor specifice de energie conduce la o serie de efecte economice pozitive, în esență creșterea eficienței economice *) la nivel microeconomic, cît și macroeconomic.

Volumul absolut al economiilor pe unitatea de produs prin reducerea costurilor de producție obținute pe seama diminuării consumului specific de energie se determină cu ajutorul diferenței

$$E = C_0 - C_1$$

în care

C_0 reprezintă costul de producție unitar dat de consumul specific de energie în perioada de bază ;

C_1 — costul de producție unitar dat de consumul specific de energie în perioada curentă.

Volumul absolut al economiilor totale, E_t, înregistrat la întreaga producție a unui produs, realizată de o singură întreprindere, obținută pe seama diminuării consumului specific de energie, se calculează cu ajutorul relației :

$$E_t = q_1 (C_0 - C_1),$$

în care q_1 reprezintă producția realizată în perioada curentă.

În continuare, suma absolută totală a economiilor obținute prin reducerea costului de producție, pe seama diminuării consumului specific de energie, la un singur produs fabricat de mai multe întreprinderi sau la nivelul producției unei ramuri cu producție omogenă, se calculează după formula :

$$E_t = \Sigma\, q_1 (C_0 - C_1)$$

Diminuarea consumului specific de energie atît în cazul proceselor (instalațiilor) în funcțiune, cît și al celor aflate în stadiul concepției-proiectării, cerință pe care o vom denumi obiectivul, solicită de obicei alocarea unor fonduri de investiții mai mari.

Decizia alocării unor astfel de fonduri trebuie să fie luată pe baza unui studiu complex de eficiență economică a investițiilor. Va trebui astfel să fie precizată acea variantă tehnică, din mai multe posibile, care asigură o eficiență economică maximă a eforturilor solicitate de realizarea ei practică.

*) Diminuarea consumului specific de energie poate antrena și alte economii la costuri decît cele realizate pe seama unui consum specific mai redus de energie.

Fundamentarea unei astfel de decizii presupune compararea critică tehnico-economică a diferitelor variante tehnice posibile de aplicat, utilizîndu-se în acest scop un sistem de indicatori tehnico-economici, construit pe informații privind :

— valoarea investițiilor necesare realizării diferitelor variante tehnice posibile ;

— nivelul consumului specific de energie ce se poate realiza pe fiecare variantă în parte ;

— durata de recuperare a valorii investițiilor pe seama economiilor la costurile de producție pe fiecare variantă, obținută pe seama diminuării consumurilor specifice de energie.

Unii specialiști folosesc drept criteriu economic de alegere a variantei tehnice indicatorul și durata de recuperare a investițiilor pe seama economiilor anuale la costurile de producție, alegîndu-se în consecință varianta care va asigura cea mai scurtă durată de recuperare a investițiilor, concomitent încadrîndu-se și în durata normată de recuperare a investițiilor a ramurii economice respective, DR_N

$$i^* = min \left\{ DR_i ;\ DR_i = \frac{I_i}{C_1 - C_1} \right\}$$

$$DR_i \leqslant DR_N$$

în care

i^* este varianta tehnică optimă ;

i — numărul de ordine al variantelor tehnice posibile ($i = 1 \ldots n$) ;

DR_i — durata de recuperare a investițiilor necesare în varianta tehnică i (I_i), pe seama volumului economiilor anuale la costurile de producție ($C_0 - C_1$), obținute pe seama diminuării consumului specific de energie.

Limitele indicatorilor de determinare a eficienței economice a investițiilor ocazionate de diminuarea consumului specific de energie sînt înlăturate prin aplicarea unor metode moderne de analiză.

Elementul comun al acestor metode constă în actualizarea rezultatelor și costurilor proiectelor de investiție respective, pentru a se ține seama de valorile diferite ale acestora în perioade diferite de timp ; aceasta presupune scontarea celor două fluxuri valorice cu un procent fix, stabilit apriori și numit coeficient de actualizare. El este un procent teoretic prin care investitorul dă o expresie cantitativă implicațiilor reale pe care apreciază că le va avea investiția asupra fondurilor sale. În stabilirea lui se ține seama de randamentul sperat al capitalului propriu folosit, de costul capitalului de împrumut, precum și de riscurile economice, comerciale, valutare etc. legate de investiție.

În continuare se prezintă două metode de estimare a acestor proiecte de investiții, bazate pe procedeul actualizării.

În utilizarea primei metode a valorii nete actualizate (VNA), se pleacă de la următoarea relație :

$$VNA = \sum_{t=1}^{n} V_t (1+a)^{-t} - \sum_{t=1}^{k} I_t (1+a)^{-t} + R(1+a)^{-n},$$

în care

V_t este venitul net (cash-flow) adus de investiție în anul t, respectiv suma dintre beneficiul net (B_t) și amortizări (A_t) ;

T_t — mărimea capitalului mobilizat în anul t.

Menționăm că dacă investiția se face numai la începutul acțiunii, în anul 0,

$$\sum_{i=1}^{k} I_t (1+i)^{-t} = I_0$$

R — valoarea de lichidare prevăzută pentru anul n ;

k — timpul de efectuare a investiției, în ani ;

n — durata de viață a obiectivului construit ;

a — coeficientul de actualizare.

Conform metodei VNA, un proiect de investiție este rentabil cînd valoarea indicatorului prezentat mai sus este pozitivă.

Metoda VNA prezintă o limită : nu permite compararea între diferite variante de investiții.

Metoda ratei interne de randament (RIR) înlătură neajunsul menționat și permite compararea rentabilității proiectului analizat cu orice alt proiect de investiție, inclusiv cu plasamentul bancar al fondurilor respective.

Prin definiție, RIR este acea rată (coeficient) pentru care suma valorilor actualizate ale cheltuielilor de investiții și ale veniturilor nete actualizate devine egală cu zero.

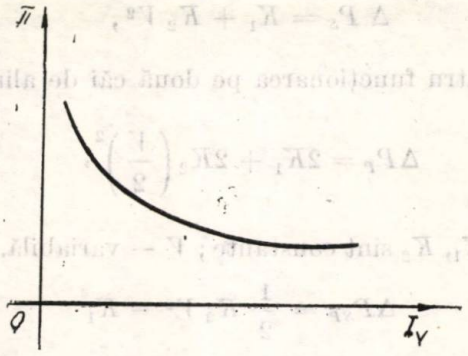
Reluînd formula de mai sus, RIR este acel r pentru care :

$$\sum_{t=1}^{n} V_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^{k} I_t (1+r)^{-t} = 0.$$

RIR poate fi calulată prin interpolare matematică sau grafică.

Pierderea de exergie, care se traduce prin diminuarea consumurilor specifice de exergie, poate fi redusă la valori tot mai mici, odată cu perfecționarea corespunzătoare a condițiilor de desfășurare a proceselor, respectiv odată cu perfecționarea instalațiilor în care se desfășoară aceste procese. Anularea, însă, a acestor pierderi este imposibilă din punct de vedere tehnic, iar reducerea lor la valoarea minimă realizabilă

este neeconomică, deoarece pierderile de exergie scad asimptotic cu creșterea eforturilor tehnice și economice, așa după cum rezultă din figura 3.



Fig, 3

Bibliografie

[1] Berinde, T. ș.a. *Întocmirea și analiza bilanțurilor energetice industriale*. Vol. I, Editura tehnică, București, 1976.

[2] Carabogdan, G. I. ș.a. *Instalații termice industriale*. Editura tehnică, București, 1978.

[3] Chiraleu, I. ș.a. *Instalații frigorifice*. Editura tehnică, București, 1962.

[4] Ciolan, I. *Strategia în investiții*. Editura Academiei R. S. România, București, 1978.

[5] Feldmann, V. și Văleanu, U. *Utilizarea rațională a energiei electrice*. Editura tehnică, București, 1966.

[6] Frisch, R. *Lois techniques et économiques de la production*. Dunod, Paris, 1963.

[7] Furtunescu, H. *Căi de gospodărire rațională a căldurii în industrie*. Editura tehnică, București, 1966.

[8] Iancu, A. *Eficiența economică maximă*. Editura politică, București, 1972.

[9] Mansfield, E. *The Economics of Technological Change*. New York, 1968.

[10] Massé, P. *Le choix des investissements*. Dunod, Paris, 1968.

[11] Maksimov, A. A. *Economisirea de energie electrică în întreprinderile industriale*. Editura tehnică, București, 1963.

[12] Marhes, J. *Incertitudes et décisions industrielles*. Dunod, Paris, 1967.

[13] Nerescu, I. și Radcenco, Vs. *Analiza exergetică a proceselor termice*. Editura tehnică, București, 1970.

[14] Ninterhuber, G. *La politica degli investimenti nelle impresse industriali*. Milano, 1965.

[15] Rant, Z. *Bilanțuri și factori de apreciere în procesele termice*. În : Economia de energie, nr. 7, 1965.

[16] Schwerna, W. *Untersuchungen zur Theorie der Investition*. Tübingen, 1971.

[17] Voznesenski, A. *Mărirea eficacității instalațiilor termotehnice industriale*. Editura tehnică, București, 1967.

[18] * * * Normativ E (2+7)—70 privind metodica de întocmire și analiză a bilanțurilor energetice în întreprinderile industriale și similare. Ministerul Energiei Electrice — Inspecția generală energetică.

Corelarea nivelului de siguranță în alimentarea cu energie electrică sau termică cu consumul propriu tehnologic, la consumatorii industriali

Dr. ing. **Călin Mihăileanu**
Dr. ing. **Adrian Stoica**
Ing. **Angela Perea** *

Analiza gradului de siguranță în alimentarea cu energie electrică sau termică a unor consumatori industriali, existenți, din industria chimică și siderurgică, precum și caracteristicile tehnologice ale acestor consumatori au demonstrat faptul că majoritatea receptoarelor electrice și termice sînt de categoria I de siguranță [1], [2].

Întreruperea alimentării receptoarelor din această categorie conduce la dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu, necesitînd perioade lungi pentru reluarea producției sau/și conducînd la rebuturi importante de materii prime, care nu mai pot fi recuperate [3].

*) Dr. ing. Călin Mihăileanu este director general al Institutului central de cercetări energetice ; dr. ing. Adrian Stoica este director general al G.I.P. Ploiești, ing. Angela Perea este cercetător științific în cadrul ICEMENERG.

Alimentarea cu energie electrică și termică a acestor consumatori se face, de regulă, prin cel puțin două căi de alimentare cu rezervare de 100 % [1].

Lucrarea de față își propune ca, pentru această categorie de consumatori, să prezinte, cu ajutorul indicatorului de eficiență economică „cheltuieli totale actualizate", posibilitatea exprimării unui optim între gradul de siguranță, care se exprimă economic prin daunele înregistrate la consumator datorită întreruperilor în alimentarea cu energie electrică sau termică, și consumul propriu tehnologic, care se exprimă economic prin cheltuieli de exploatare calculate în raport cu pierderile de energie.

1. Optimizarea funcționării unei scheme de alimentare cu energie electrică sau termică

Expresia matematică a cheltuielilor totale actualizate este de forma [4] :

$$A = \sum_{i=0}^{n} [I_i(1+a)^{-i} + C_i(1+a)^{-i} + D_i(1+a)^{-i}] - \sum_{i=1}^{n} V_{ri}(1+a)^{-i},$$

în care

i este anul curent ;

a — rata de actualizare ;

n — perioada de studiu;
I — investiţiile efective;
C — cheltuieli anuale de exploatare;
D — valoarea daunei medii probabile anuale;
V_r — valori reziduale ale instalaţiilor dezafectate.

Notînd cu indicele S funcţionarea schemei pe o singură cale de alimentare şi cu indicele P funcţionarea schemei pe două căi de alimentare în paralel, şi avînd în vedere faptul că investiţiile I şi valorile reziduale V_r nu depind de configuraţia de funcţionare a schemei de alimentare, atunci:

$$A_{SP} = \sum_{i=0}^{n} [(C_{iS} - C_{iP})(1 + a)^{-i} + (D_{iS} - D_{iP})(1 + a)^{-i}]$$

Dacă din calcul rezultă:

$A_{SP} > 0$, funcţionarea este optimă cu două căi de alimentare în paralel;

$A_{SP} < 0$, funcţionarea este optimă pe o singură cale de alimentare.

2. Evaluarea cheltuielilor anuale de exploatare, C

Expresia generală a cheltuielilor anuale de exploatare este de forma: $C = C_c + C_v$, unde C_c sînt cheltuieli constante de exploatare care nu depind de configuraţia de funcţionare a schemei de alimentare (întreţinere, reparaţii, salarii etc.), iar C_v — cheltuieli variabile de exploatare care depind de configuraţia de funcţionare a schemei de alimentare (pierderi de energie).

Simplificînd expresia cheltuielilor anuale de exploatare în varianta de funcţionare cu una sau două căi de alimentare, rezultă:

$$C_{SP} = T \cdot p_c (\Delta P_S - \Delta P_P),$$

unde

T este durata de funcţionare a schemei în configuraţia dată [h];

p_c — costul energiei [lei/kWh], [lei/Gcal];

ΔP — pierderile de putere sau căldură [kW], [Gcal/h].

Expresia generală a pierderilor de energie este de forma:

— pentru energia electrică

$$\Delta P_E = K_{E1} + K_{E2} I^2,$$

— pentru energia termică

$$\Delta P_T = K_{T1} + K_{T2} G^2,$$

în care

K_{E1}, K_{E2}, K_{T1}, K_{T2} sînt valori ale pierderilor de energie electrică sau termică care nu depind de sarcina electrică sau termică transportată;

I este curentul sarcinii electrice;

G — debitul de agent termic.

Generalizînd expresiile mai sus menţionate, se constată că pentru funcţionarea pe o cale de alimentare:

$$\Delta P_S = K_1 + K_2 V^2,$$

iar pentru funcţionarea pe două căi de alimentare:

$$\Delta P_P = 2K_1 + 2K_2 \left(\frac{V}{2}\right)^2.$$

unde K_1, K_2 sînt constante; V — variabilă.

$$\Delta P_{SP} = \frac{1}{2} K_2 V^2 - K_1$$

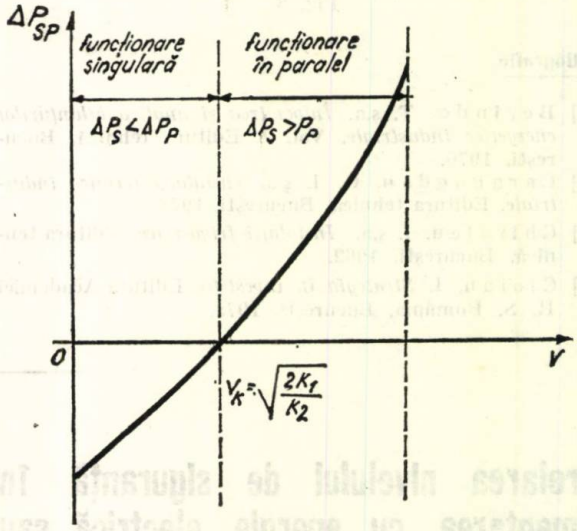


Fig. 1

Se constată din grafic că, din punct de vedere al pierderilor de energie, este optim a se funcţiona

— pe o singură cale de alimentare dacă $V_K < \sqrt{\frac{2K_1}{K_2}}$, adică $\Delta P_S < \Delta P_P$;

— pe două căi de alimentare în paralel dacă $V_K > \sqrt{\frac{2K_1}{K_2}}$, adică $\Delta P_S > \Delta P_P$.

3. Evaluarea daunei medii probabile anuale, D

Expresia generală a daunei medii probabile anuale este de forma [5]:

$$D = n_T (D_T) a_T + n_P (D_P) a_P$$

Indicatorii de siguranţă n_T, a_T, n_P, a_P reprezintă numărul mediu probabil de întreruperi totale sau parţiale în alimentare şi duratele medii probabile ale acestor întreruperi.

D_T, D_P reprezintă valoarea daunelor corespunzătoare duratelor medii probabile de întreruperi totale sau parţiale în alimentare.

$D_P = \varphi D_T$, unde φ este coeficientul de pondere a daunei parțiale în raport cu dauna totală.

Dacă se funcționează pe o singură cale de alimentare, $D_S = n_{TS}(D_T)_{d_m}$, iar pe două căi de alimentare, $D_P = n_{TP}(D_T)_{d_T < d_m} + n_P(\varphi D_T)_{d_P < d_m}$; $D_{SP} = D_T\,[n_{TS} - (n_{TP} + \varphi n_P)]$, în care d_m este durata de manevră a schemei, care este max. 30 minute.

În ceea ce privește valoarea daunei totale pe întrerupere în condițiile mai multor căi de alimentare, care reduce durata întreruperii în alimentare la durata de manevră, aceasta cuprinde de regulă numai valoarea daunei fără posibilități de recuperare, care practic se rezumă la dauna atribuită consumului suplimentar de utilități și deteriorările de materie primă.

Se constată că din punct de vedere al gradului de siguranță este preferată funcționarea în paralel a căilor de alimentare.

Pe baza celor prezentate rezultă, în concluzie, că optimizarea nivelului de siguranță în alimentarea cu energie electrică sau termică cu consumul propriu tehnologic minim se justifică practic numai în condițiile de funcționare a consumatorilor industriali pe o singură cale de alimentare.

Funcționarea schemei de alimentare cu energie electrică sau termică pe cel puțin două căi de alimentare în paralel prezintă cheltuieli minime atît în ceea ce privește pierderile de energie cît și dauna medie probabilă anuală.

4. Evaluarea daunei corespunzătoare întreruperii totale în alimentarea cu energie electrică sau termică

Expresia generală de evaluare a daunei funcție de durata întreruperii totale în alimentare [5], [6] este de forma :

$$D_T^k = \sum_{p=1}^{n} [(D_2)_{T^k = T_{cr}} + \beta Q E_1 (T_R^k - T^k) + Q E_P T_R^k]^{(p)}$$

unde :

- D_T^k este valoarea daunei totale corespunzătoare duratei T_h de întrerupere în alimentare [lei];
- p — indicele produselor de fabricație ($p = 1, 2, \cdots, n$;
- D_2 — dauna datorită deteriorărilor de utilaj și/sau materie primă care au loc la anumite durate critice, T_{cr}, ale întreruperii [lei];
- β — coeficientul de utilizare a capacității uniorare de producție pe perioada revenirii procesului de producție;
- Q — capacitatea medie uniorară de producție [t/h];
- E_1 — consum suplimentar de utilități [lei/t];
- $E_p = E_3 + E_4 + E_5$ — elementele economice ale costului, amortizări + cheltuieli generale (E_3), salarii directe (E_4), beneficiu nerealizat (E_5) [lei/t];
- T_h^k — durata întreruperii tehnologice corespunzătoare momentului k, [h];
- T^k — durata întreruperii în alimentare corespunzătoare momentului k, [h].
- (p) — expresia calculată cu elementele corespunzătoare produsului p.

Dacă consumatorul își recuperează producția nerealizată prin intensificarea producției, atunci :

$$D_T'^k = \sum_{p=1}^{n} [(D_2)_{T^k = T_{cr}} + \beta Q E_1 (T_R^k - T^k) + (Q' - Q)(E' - E_1)\, T'^k]^{(p)}$$

(semnul prim reprezintă elementele de calcul corespunzătoare regimului intensificat de producție).

Dacă consumatorul își recuperează producția nerealizată prin lucru suplimentar, atunci :

$$D_T''^k = \sum_{p=1}^{n} [(D_2)_{T^k = T_{cr}} + \beta Q E_1 (T_R^k - T^k) + Q'' E_4'' T_R''^k]^{(p)}$$

(semnul secund reprezintă elementele de calcul corespunzătoare lucrului suplimentar).

Din expresiile prezentate se constată că durata întreruperii tehnologice este variabilă funcție de durata întreruperii în alimentare.

Analiza proceselor tehnologice la consumatorii industriali a demonstrat că durata de întrerupere tehnologică (T_h) depinde nu numai de durata întrerupeii în alimentare, dar și de condițiile funcționării exprese ale proceselor tehnologice

$$T_h = f(T, T_{cr}, T_S, T_A, T_{th})$$

în care

- T_{cr} este momentul întreruperii în alimentare cînd pot avea loc deteriorări de materii prime sau utilaj;
- $T_S = T_g + T_u$ este durata necesară golirii sau umplerii cu materie primă a instalației;
- T_A — durata necesară separării sau înlocuirii utilajului deteriorat;
- $T_{th} = T_P + T_R + T_{RT} + T_D/2$ este durata de revenire tehnologică a procesului, care se compune din timpii elementari de pornire (T_P), reglaj (T_R), realizare puritate (T_{RP}), realizare debit (T_D).

În cazul în care

$T_{cr} = 0$, rezultă $T_s = 0$, $T_A = 0$; $T_h = T + T_{th}$

$T_{cr} \neq 0$, pentru $T_s \neq 0$, $T_A = 0$; $T_h = T + T_u + T_{th}$ dacă $T > T_{cr} + T_g$

și $T_h = T_{cr} + T_g + T_{th}$ dacă $T < T_{cr} + T_g$

Valorile parametrilor de estimare a indicatorilor de daună

Nr. crt.	Denumirea consumatorului	X [min]		G_Q [lei/t/h] a	G_Q b	G_Q c	G_{Pa} [lei kW] a	G_{Pa} b	G_{Pa} c	d_{Pa} [lei/kWh] k	d_{Pa} a	d_{Pa} b	d_{Pa} c
1	Distilare atmosferică şi sub vid (DAV)	1—5		2,98	23,20	—	0,34	2,42	—	16,52	9,05	—	—
			—B	1,21	9,54	—	0,15	0,12	—	6,93	9,83	—	—
		6—180		1,63	155,54	—	0,21	19,91	—	13,04	91,69	—	—
			—B	0,98	90,75	—	0,12	11,90	—	7,73	92,42	—	—
2	Reformare catalitică (RC)	1—180		10,62	2068	—	0,11	23,32	—	7,04	198,73	—	—
			—B	6,64	1359	—	0,073	15,016	—	4,39	205,25	—	—
3	Cracare catalitică (CC)	1—180		—0,026	19,40	959	—0,0588	0,411	20,02	2,89	—0,0122	8,54	414,27
			—B	—0,01	7,15	535	—0,0227	0,144	11,35	1,26	—0,0107	6,84	540,22
4	Absorbţie şi fracţionare gaze (AFG)	1—180		0,03875	15,68	605	$-1{,}27\cdot10^{-4}$	0,104	6,63	0,838	—0,009	7,48	971,24
			—B	0,014	5,65	355	—0,0694	0,0298	3,94	0,344	0,0119	5,15	687,5
5	Cocsare (cocs)	1—15		3,34	77,01	—	0,135	3,464	—	8,13	25,57	—	—
			—B	1,26	38,04	—	0,066	2,063	—	4,02	30,75	—	—
		16—180		3,24	669,10	—	0,206	14,157	—	12,38	68,50	—	—
			—B	1,67	228,67	—	0,121	5,14	—	7,20	43,0	—	—
6	Hidrofinare motorină (HM)	1—180		5,26	2189	—	0,36	141,21	—	21,68	390,81	—	—
			—B	2,05	1037	—	0,13	64,73	—	8,18	474,81	—	—
7	Rafinăria de petrol	1—180		—0,0253	15,76	1378	$-4{,}55\cdot10^{-4}$	0,2738	24,20	2,52	—0,0109	6,44	577
			—B	—0,0128	7,216	759	$-2{,}23\cdot10^{-4}$	0,1311	14,01	1,357	—0,0101	5,83	616

În cazul în care $T_{cr} \neq 0$; $T_s \neq 0$; $T_A \neq 0$

pentru $T < T_{cr} + T_g + T_A$; $T_h = T_{cr} + T_s + T_A + T_{th}$

$$T > T_{cr} + T_g + T_A \; ; \; T_h = T + T_{th} + T_u$$

Deoarece timpii de întrerupere tehnologică pe produse de fabricaţie implică înserierea unuia sau mai multor procese tehnologice, funcţie de rezervele-tampon de materie primă existente la un moment dat între acestea, este necesară şi întocmirea grafului de repornire tehnologică a instalaţiilor tehnologice, pe ansamblul consumatorului. Aplicarea metodei analitice, prezentată mai sus, pentru determinarea caracteristicii $T_h = f(T)$ prezintă avantajul, pe lîngă faptul că poate fi aplicată oricărui consumator încă în faza de proiect, că poate să scoată în evidenţă o serie de măsuri menite să evite duratele critice de avarii şi să reducă duratele de întrerupere tehnologică.

Generalizarea caracteristicilor de evaluare a daunelor funcţie de durata întreruperii în alimentarea cu energie electrică sau termică, pentru consumatori industriali cu specific tehnologic asemănător, se poate efectua cu ajutorul indicatorilor generali de daună :

G_Q[lei/t/h] — dauna generală pe întrerupere raportată la capacitatea de producţie ;

G_{Pa}[lei/kW]— dauna generală pe întrerupere raportată la puterea medie absorbită ;

G_{Ga}[lei/Gcal/h] — dauna generală pe întrerupere raportată la sarcina termică medie absorbită.

$$G_Q = \frac{G_{Q1} + G_{Q2} + \ldots . G_{Qk} + \ldots G_{Qn}}{n} \; ; \; G_{Qk} = \frac{D_{TK}}{Q_k}$$

$$G_{Pa} = \frac{G_{Pa1} + G_{Pa2} + \ldots G_{Pak} + \ldots G_{Pan}}{n} \; ; \; G_{Pak} = \frac{D_{TK}}{P_{ak}}$$

$$G_{Ga} = \frac{G_{Ga1} + G_{Ga2} + \ldots G_{Gak} + \ldots G_{Gan}}{n} \; ; \; G_{Gak} = \frac{D_{TK}}{G_{ak}}$$

unde $K = 1,2, \ldots, n$ reprezintă indicele consumatorului analizat.

Indicatorii specifici de daună se evaluează cu ajutorul expresiilor :

$$d_{Pa} = \frac{G_{Pa}}{T_e} \text{ [lei/kWh]} \; ; \; d_{Ga} = \frac{G_{Ga}}{T_T} \text{ [lei/Gcal]}$$

În ceea ce priveşte indicatorul specific de daună d_T [lei pe minutul de întrerupere în alimentare] $d_T^k = \frac{D_T^k}{T^k}$, acesta este specific unui anumit consumator.

Estimarea acestor indicatori corespunzători întreruperilor în alimentarea cu energie electrică, pentru consumatorii industriali cu specific de rafinărie, se face cu ajutorul datelor prezentate în tabelul 1, în varianta cu şi fără aportul daunei atribuite beneficiului nerealizat($-B$).

Pentru determinarea indicatorilor generali de daună G_Q şi G_{Pa} se dau parametrii a, b şi c, pentru care se folosesc ecuaţiile :

$$y = ax + b \; ; \quad y = ax^2 + bx + c$$

Pentru determinarea indicatorului specific de daună d_{Pa}, se dau parametrii k, a, b, c, pentru care se folosesc ecuaţiile

$$y = \frac{k(x + a)}{x} \; ; \quad y = \frac{k(ax^2 + bx + c)}{x},$$

x fiind durata întreruperii în alimentarea cu energie electrică.

Dispunem de date asemănătoare şi pentru întreruperi în alimentarea cu energie termică, însă, dat fiind numărul mic de consumatori analizaţi, aceste rezultate nu pot fi generalizate.

Preocupările şi rezultatele practice obţinute în acest domeniu au permis să se scoată în evidenţă o serie de aspecte, care ar trebui să fie luate în considerare la stabilirea gradului optim de siguranţă în funcţionare a consumatorilor industriali, precum şi în corelarea acestui grad cu consumul propriu tehnologic, astfel :

— corelarea gradului optim de siguranţă în funcţionare cu consumul propriu tehnologic se rezumă de fapt la minimizarea cheltuielilor totale actualizate pentru partea care priveşte pierderile de energie şi dauna medie probabilă anuală atribuită părţii nerecuperabile ;

— caracteristicile de evaluare a daunei funcţie de durata întreruperii în alimentare sînt specifice unui anumit consumator. Generalizarea acestora, pe un grup de consumatori cu specific tehnologic asemănător, se poate face cu ajutorul indicatorilor generali de daună ;

— determinarea daunei datorită întreruperilor totale în alimentarea cu energie electrică sau termică, considerăm oportun a se efectua prin metoda analitică, prezentată. Aceasta se justifică nu numai datorită faptului că nu se dispune de suficiente date statistice care să caracterizeze comportarea unui consumator recent intrat în funcţiune, la întreruperi în alimentare, dar metoda dă posibilitatea de a se interveni cu măsuri tehnologice şi energetice adecvate evitării duratelor critice de întrerupere şi reducerii în final a daunei pe întrerupere ;

— sînt necesare acţiuni de masă din partea institutelor de cercetare de ramură a consumatorilor industriali pentru a dispune de un volum cît mai mare de informaţii în domeniul indicatorilor generali şi specifici de daună.

Bibliografie

[1] Mihăileanu, C., Perea, A. și Simian, E. *Probleme privind continuitatea în alimentarea cu energie electrică și termică a platformelor industriale.* Comunicare. Galați 1976.

[2] Poeată, A., Perea, A., Stoica, A. și Crăciun, I. *Considerații privind optimizarea nivelului de siguranță în alimentarea cu energie electrică a platformelor industriale petrochimice.* Comunicare. Suceava, 1975.

[3] * * * M.E.E. *Normativ privind alimentarea cu energie electrică (PE 124/1978) și termică (PE 212/1973) a consumatorilor industriali și similari.*

[4] Nitu, V. *Fiabilitatea instalațiilor electrice.* Ed. Academiei R.S.R., București, 1973.

[5] Perea, A. și Stoica, A. *Considérations concernant la détermination des dommages provoqués par les interruptions dans l'alimentation avec énergie électrique des consommateurs industriels de la pétrochimie.* Comunicare, Gdansk, 1975.

[6] Mihailov, V. *Nadejnosti elektrosnabjeniia promîslennîh predpriatii.* Energhiia, Moscova, 1973.

[7] Mihăileanu, C. și Perea, A. *Evaluarea daunei medii probabile anuale datorită întreruperilor în alimentarea cu energie electrică pe ansamblul grupului furnizor-consumator.* Comunicare, București, 1977.

[8] Mihăileanu, C., Stoica, A., Perea, A. și Crăciun, I. *Indicatori specifici de daună corespunzători întreruperilor în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali de pe platformele petrochimiei.* Comunicare, București, 1977.

[9] Mihailov, V., Gudkov, L. și Tereșenko, A. *Raționalnoe ispolzovanie topliva i energhii v promîslennosti.* Energhiia, Moscova, 1978.

Influența tensiunii de alimentare asupra indicatorilor energetici ai unui cuptor cu arc

Ing. **Gh. Bălan**
Ing. **V. Rugină**
Dr. ing. **D. M. Potlog***)

Cuptoarele electrice sînt acele cuptoare la care cea mai mare parte a energiei necesare provine de la unul sau mai multe arcuri electrice ce ard în interiorul cuptorului.

Temperatura înaltă obținută și concentrarea mare a puterii în arcurile electrice permit utilizarea rațională a cuptoarelor cu arc pentru topirea metalelor feroase, a aliajelor de cupru și, în general, a metalelor și aliajelor greu fuzibile.

Schema principială de conexiune a unui cuptor la rețea este cea din figura 1. Puterea transformatorului de alimentare reprezintă principalul parametru electric al unui cuptor cu arc. Caracteristic acestor transformatoare este faptul că trebuie să permită variația tensiunii secundare într-o plajă largă și să suporte în bune condiții șocurile mari de curent ce pot apărea în funcționarea cuptorului.

Pentru o anumită poziție a electrozilor, lungimea arcului variază continuu și, implicit, curentul prin arc și puterea acestuia. Pentru a preîntîmpina acest lucru și a asigura o bună stabilitate a arcului, cuptorul este prevăzut cu un regulator automat de putere care comandă deplasarea electrozilor, astfel ca impedanța arcului să rămînă constantă.

Funcționarea unui cuptor se poate caracteriza prin următoarele faze :

a) încărcarea
b) pornirea
c) topirea
d) oxidarea
e) reducerea
f) turnarea
g) prepararea

În fazele a), f) și g) instalația cuptorului este separată de rețeaua electrică de alimentare.

Transformatorul de alimentare este conectat la rețea la începutul perioadei de pornire.

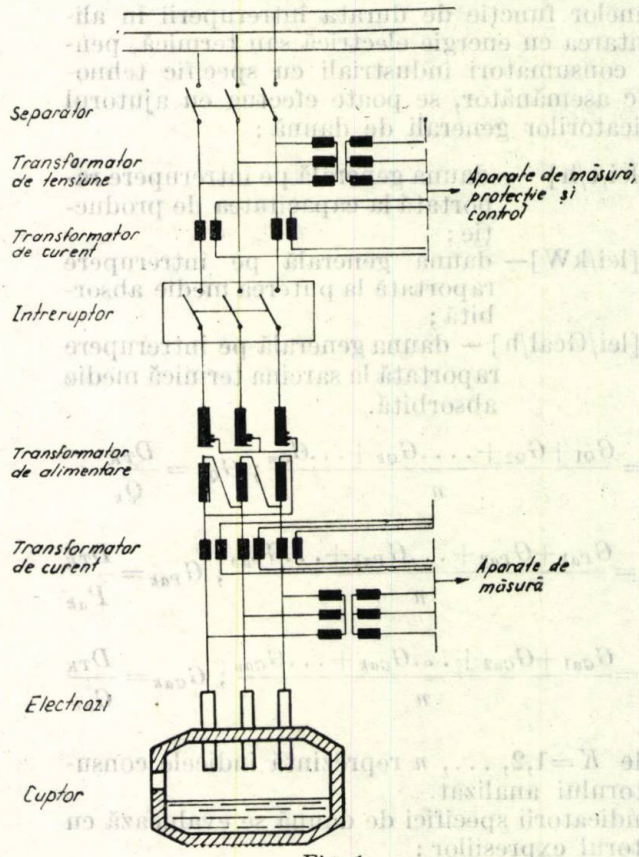


Fig. 1

Electrozii se aduc în atingere cu încărcătura solidă (lingouri, fier vechi etc.), fiind apoi îndepărtați pentru a trage arcul. La început, arcul arde greu și se întrerupe ușor, trebuind tras din nou. În această perioadă se produc în secundarul transformatorului cuptorului scurtcircuite mono, bi sau trifazate, care alternează cu întreruperi complete, dînd variații de sarcină importante pentru rețea și variații de tensiune pe barele de alimentare.

* Ing. Gheorghe Bălan este director adj. științific la ICEMENERG ; ing. Vasile Rugină și dr. ing. D. M. Potlog sînt cercetători științifici la ICEMENERG.

Odată amorsate arcurile electrice pe cele trei faze, începe perioada propriu-zisă de topire, care necesită cea mai mare cantitate de energie și care are o durată maximă în raport cu celelalte. Pentru a se mări productivitatea cuptorului, există tendința de a reduce durata topirii prin mărirea puterii absorbite. Acest lucru se realizează prin mărirea tensiunii de alimentare (impedanța arcului fiind menținută constantă de regulatorul de putere).

Următoarele două perioade se caracterizează prin energii necesare mai mici. Durata acestora este dictată de considerente tehnologice, și nu energetice, iar puterea absorbită se reduce substanțial. Acest lucru se obține prin reducerea tensiunii de alimentare a cuptorului. În cursul acestor perioade se oxidează sau se adaugă substanțele necesare pentru a se obține calitatea dorită de oțel.

Curba de sarcină a unui astfel de consumator are, în principiu, patru paliere, corespunzător la patru faze diferite din procesul tehnologic (fig.2.). Valorile numerice reprezintă o medie a 20 șarje ale unui cuptor de 50 tone.

Primul palier corespunde topirii. În această perioadă, puterea absorbită este maximă (puterea activă este 13 MW, iar cea reactivă 15 MVAr). Durata medie este 2,75 ore. Consumul de energie electrică este de 35,22 MWh.

Al doilea palier corespunde oxidării. Puterea activă absorbită scade la 5,3 MW, iar cea reac-

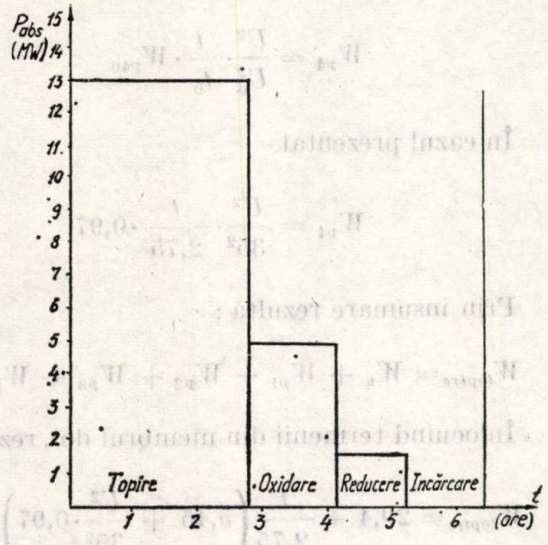


Fig. 2

tivă la 4 MVAr. Durata medie a fazei este 1,30 ore. Consumul mediu de energie electrică este, în medie pe o șarjă, 6,95 MWh.

Al treilea palier corespunde reducerii. Timp de 1,15 ore puterea activă absorbită este de 2 MW, consumul de energie corespunzător fiind de 2,33 MWh.

Al patrulea palier corespunde perioadelor de turnare a șarjei, de preparare și încărcare a cuptorului, timp în care instalația electrică a cuptorului este deconectată. Durata medie a acestei perioade este 1,2 ore. Consumul de energie electrică în acest timp este, evident, nul.

Rezultă, pentru întreaga perioadă de elaborare a unei șarje (cu o masă medie de 62,4 t), un consum de energie electrică de 44,50 MWh, din care 79% pentru topire.

Variația puterii absorbite pe parcursul elaborării șarjei se efectuează prin variația raportului de transformare al transformatorului de alimentare. Acest transformator are posibilități mari de reglare a tensiunii secundare, funcție de faza în care se găsește procesul tehnologic. În cazul particular studiat, transformatorul are 23 ploturi, tensiunea secundară putînd varia între 368 V (plotul 1) și 125 V (plotul 23), tensiunea primară avînd valoarea nominală (35 kV).

În perioadele de oxidare și reducere, tensiunea secundară are valori relativ reduse (200—225 V și, respectiv, 125—180 V), reglajul efectuîndu-se din considerente tehnologice.

În perioada de topire, tensiunea secundară are valoarea maximă (transformatorul de alimentare este pe plotul 1). Acest lucru conduce atît la creșterea productivității cuptorului (prin scăderea duratei de topire și implicit de elaborare a șarjei) cît și la micșorarea consumului total de energie. Pentru această fază, posibilitățile de reglaj în sus ale transformatorului sînt epuizate și tensiunea de alimentare a cuptorului depinde direct de tensiunea primară a rețelei. Valori coborîte ale tensiunii primare conduc la micșorarea puterii absorbite și, implicit, a posibilității importului și randamentului său energetic.

Pentru a se determina influența tensiunii primare asupra funcționării unui cuptor cu arc, au fost efectuate o serie de măsurători la cuptorul de 50 t, prezentat anterior.

Într-o primă etapă s-a determinat dependența puterii active absorbite de cuptor funcție de tensiunea primară de alimentare. Au fost efectuate măsurători pentru un număr de șase șarje, variind tensiunea primară între 33 și 38 kV. Prelucrînd rezultatele măsurătorilor prin metodele celor mai mici pătrate, în ipoteza unei dependențe liniare, s-a obținut relația analitică :

$$P = 0{,}858 \cdot U - 16{,}909 \qquad (1)$$

(P fiind exprimat în MW și U în kV)
cu o eroare medie pătratică

$$\sigma = 0{,}098$$

Prelucrarea rezultatelor în ipoteza unei dependențe parabolice nu a condus la o creștere notabilă a preciziei. Relația obținută în acest caz a fost :

$$P = -0{,}000676 \cdot U^2 + 0{,}904 \cdot U - 17{,}71 \qquad (2)$$

cu o eroare medie pătratică

$$\sigma = 0{,}097$$

A fost reținută relația liniară (1), reprezentată grafic în figura 3.

Rezultă că scăderea cu 1 kV a tensiunii pe barele de 35 kV în faza de topire conduce la o reducere cu 0,858 MW a puterii absorbite. În

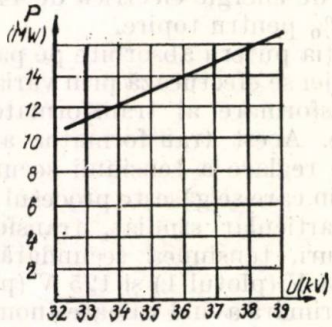


Fig. 3

alți termeni, variația cu 1% a tensiunii conduce la variația cu 2,26 % a puterii active absorbite.

Pentru a determina efectele tehnico-economice ale variației tensiunii primare, a fost utilizat bilanțul energetic al cuptorului pentru o șarjă medie.

Consumul de energie electrică în fiecare fază are valorile prezentate anterior, și anume :

— topire	35,22 MWh
— oxidare	6,95 MWh
— reducere	2,33 MWh

Întrucît consumul de energie electrică în ultimele două faze este dictat de rațiuni tehnologice și nu este influențat de tensiunea pe barele de 35 kV, nu ne vom opri asupra lui.

Prezintă însă interes consumul de energie în faza de topire, atît datorită valorii sale ridicate (în unități absolute și ca pondere în consumul total pe șarjă : 79%) cît și prin faptul că el este influențat de valoarea tensiunii primare (pe barele de 35 kV).

O parte din această energie reprezintă energia utilă pentru încălzirea și topirea oțelului din cuptor.

$$W_u = 22 \text{ MWh}$$

Restul servește pentru acoperirea pierderilor

$$W_p = 13{,}22 \text{ MWh}$$

Dintre acestea s-a considerat că o parte nu variază cu durata topirii, și anume :

W_{p1} — energie pierdută la încărcarea cuptorului

$$W_{p1} = 4{,}56 \text{ MWh}$$

W_{p2} — energie pierdută prin gazele ce se degajă

$$W_{p2} = 2{,}84 \text{ MWh}$$

Alte pierderi s-au considerat variabile în timpul cît durează topirea. Este vorba de pierderile prin boltă, electrozi, vatră, orificii și prin apa de răcire. Pentru acestea s-a considerat o variație de forma :

$$W_{p3} = \frac{t}{t_0} \cdot W_{p30} \qquad (3)$$

unde

W_{p30} este suma acestor pierderi la valoarea nominală, U_0, a tensiunii primare (35 kV) ;

t_0 — durata topirii la valoarea nominală, U_0, a tensiunii primare, transformatorul fiind pe plotul 1 ;

W_{p3} — suma acestor pierderi la valoarea U a tensiunii primare ;

t — durata topirii la valoarea U a tensiunii primare, transformatorul fiind pe plotul 1.

Pentru șarja medie prezentată ;

$$W_{p3} = \frac{t}{2{,}75} \cdot 5{,}45 \qquad (4)$$

În fine, pentru energia pierdută prin transformatorul de alimentare și conductoarele de legătură, s-a considerat o variație de forma :

$$W_{p4} = \frac{U^2}{U_0^2} \cdot \frac{t}{t_0} \cdot W_{p40} \qquad (5)$$

În cazul prezentat

$$W_{p4} = \frac{U^2}{35^2} \cdot \frac{t}{2{,}75} \cdot 0{,}97 \qquad (6)$$

Prin însumare rezultă :

$$W_{topire} = W_u + W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} + W_{p4} \qquad (7)$$

Înlocuind termenii din membrul doi, rezultă :

$$W_{topire} = 29{,}4 + \frac{t}{2{,}75}\left(5{,}45 + \frac{U^2}{35^2} \cdot 0{,}97\right) \qquad (8)$$

Dar

$$W_{topire} = P(U) \cdot t \qquad (9)$$

Din egalarea expresiilor (8) și (9) rezultă :

$$t(U) = \frac{29{,}4}{P(U) = \frac{1}{2{,}75}\left(5{,}45 + \frac{U^2}{35^2} \cdot 0{,}97\right)} \qquad (10)$$

$P(U)$ are forma din relația (1).

Relaţia (10) descrie variaţia timpului de topire, în cazul examinat în funcţie de valoarea tensiunii de alimentare pe barele de 35 kV şi este reprezentată în figura 4.

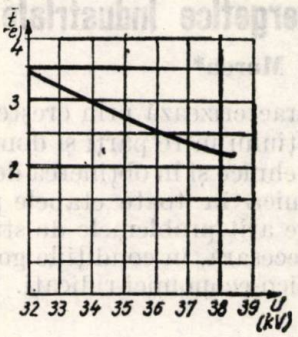


Fig. 4

Din examinarea figurii rezultă că scăderea tensiunii de la 37 la 35 kV are ca efect creşterea duratei topirii de la 2,36 la 2,74 ore. Cu aceeaşi valoare creşte durata totală de elaborare a şarjei (de la 6,01 la 6,40 ore).

În ceea ce priveşte variaţia consumului de energie pe durata topirii, se poate determina uşor cu ajutorul relaţiei (9). Dependenţa este reprezentată grafic în figura 5. Rezultă că micşorarea tensiunii de alimentare antrenează creşterea consumului de energie şi implicit micşorarea randamentului energetic.

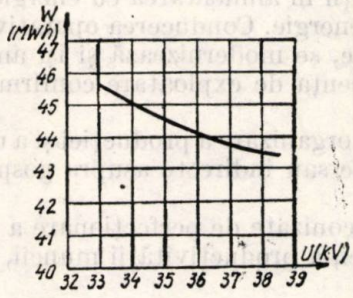


Fig. 5

Pentru cazul analizat, micşorarea tensiunii de alimentare cu 2 kV (de la 37 la 35 kV) conduce la o creştere a consumului de energie pentru faza de topire cu 0,8 MWh. Cu aceeaşi valoare creşte consumul de energie pe totalul şarjei. Cifra este valabilă pentru o singură şarjă; considerînd 1000 şarje anual, se ajunge la un consum suplimentar de 800 MWh pentru un singur cuptor.

În procente, acest consum suplimentar reprezintă 1,8 % din total.

Creşterea consumului de energie electrică pe şarjă influenţează direct atît randamentul energetic al cuptorului cît şi consumul specific de energie electrică pe tona de produs. Dependenţele au fost reprezentate în figurile 6 şi 7.

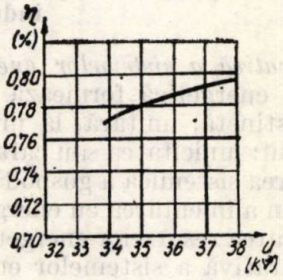


Fig. 6

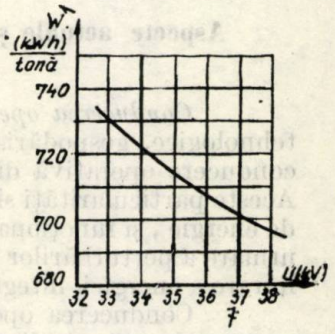


Fig. 7

Rezultă că o micşorare cu 2 kV a tensiunii primare de alimentare conduce la o micşorare cu circa 1,4 % a randamentului electric al cuptorului. Consumul specific de energie electrică pe tona de produs creşte, în aceleaşi condiţii, cu 12 MWh.

În concluzie rezultă că utilizarea unei tensiuni primare de alimentare a cuptoarelor electrice cu arc la limita superioară a valorilor admisibile este o măsură de natură să conducă la îmbunătăţirea performanţelor energetice ale cuptorului.

Secția 4

Raport general

Perfecționarea conducerii sistemelor energetice industriale

Raportor general: ing. **Bernard Marcu***)

În perioada actuală, în care realitatea industrială se caracterizează prin creșterea complexității proceselor, prin multiplicarea și aprofundarea interacțiunii între părți și domenii, conducerea a căpătat un rol determinant în realizarea obiectivelor tehnice și în obținerea de avantaje economice. Legînd organic problematica tehnică cu cea economică în toate etapele procesului industrial, începînd cu concepția, conducerea trebuie să rezolve atît problemele de structurare, cît și pe cele de funcționare, asigurînd înzestrarea energetică necesară, în condițiile gospodăririi raționale a resurselor alocate, și realizarea unor parametri tehnico-economici ridicați.

Aspecte actuale și de perspectivă privind perfecționarea conducerii sistemelor energetice industriale

Conducerea operativă a sistemelor energetice industriale. Integrată organic în sistemele tehnologice, gospodăria energetică formează un subsistem ale cărui particularități justifică o conducere operativă distinctă, unitară, la nivelul ansamblului sistemului energetic industrial. Aceste particularități sînt: unicitatea sau caracterul unitar al surselor, pentru principalele forme de energie , și funcționarea sistemică a gospodăriei energetice, afectarea proceselor tehnologice ca urmare a perturbărilor în alimentarea cu energie, necesitatea asigurării parametrilor calitativi de livrare a energiei, integrarea resurselor energetice secundare în procesul de alimentare cu energie.

Conducerea operativă a sistemelor energetice industriale se realizează prin sisteme de supraveghere centralizate, care urmăresc creșterea continuității în alimentarea cu energie, menținerea mai bună a parametrilor și realizarea de economii de energie. Conducerea operativă, care se conjugă cu automatizarea sistemelor energetice industriale, se modernizează și își amplifică funcțiunile prin utilizarea calculatoarelor electronice. Experiența de exploatare confirmă eficiența sub raport energetic a utilizării acestora.

Organizare. Probleme generale de conducere. Soluțiile de organizare a producției și a muncii adoptate în sistemele industriale, pot avea consecințe directe sau indirecte asupra gospodăriei energetice.

Este oportun ca, în examinarea diferitelor soluții preconizate de perfecționare a organizării, să se evidențieze, pe lîngă influențele asupra tehnologiei, a productivității muncii, și cele privind gospodărirea energiei.

Trebuie luate în considerare măsurile organizatorice de promovare a perfecționărilor susceptibile a conduce la economisirea energiei, organizarea activității energetice în sistemele industriale — problemele de subordonare, atribuții, responsabilități, conexiunile verticale și orizontale pe niveluri de conducere. Activitatea energetică însăși presupune trei subsfere : asigurarea cu energie, utilizarea ei rațională și controlul energetic.

Stabilirea soluțiilor de organizare reclamă instrumente științifice adecvate de adoptare și fundamentare a deciziilor.

Criterii tenhnico-economice și probleme referitoare la gestiunea economică complexă. Problemele de energetică industrială sînt situate în zona de întrepătrundere a energeticii și a tehnologiei. Soluțiile care se adoptă trebuie să fie raționale, economicoase, atît sub raport energetic, cît și sub raport tehnologic. Soluțiile care încearcă rezolvări unilaterale au, de regulă, efecte limitate.

Soluțiile energetice cu eficiență majoră sînt cele ce prevăd introducerea progreselor tehnologice în procesele industriale. De aceea este necesar ca gestiunea economică complexă să reflecte conexiunea și interacțiunea energie — tehnologie. Este necesară promovarea unor abordări sistemice, în sensul analizei implicațiilor și condiționărilor în și din sferele conexe (atît energeticii, cît și tehnologiei).

Instrumentele de analiză tehnico-economică suferă un proces de detaliere și dezvoltare pentru reflectarea adecvată a aspectelor energetice, pentru a permite evidențierea influențelor economice generate de particularitățile energetice ale soluțiilor tehnice adoptate, cît și pentru a deveni operaționale, a deveni instrumente de influențare directă a activității curente, în sensul promovării de soluții și măsuri eficiente de economisire a energiei.

---

*) director adj. — Direcția tehnică din Ministerul Energiei Electrice.

Bilanţurile energetice ale întreprinderilor industriale. Bilanţurile energetice reprezintă suporturi tehnice de analiză a mărimii pierderilor şi de stabilire a posibilităţilor de eliminare sau de reducere maximă a acestora.

Întocmirea şi analiza bilanţurilor energetice cantitative şi calitative (bilanţuri exergetice) constituie una dintre cele mai eficiente metode de identificare a posibilităţilor de raţionalizare şi economisire a energiei de toate formele.

Utilizarea bilanţurilor energetice — metodă ştiinţifică de investigare în procesul de proiectare a noilor obiective — poate să contribuie la minimizarea consumurilor energetice prin :

— fundamentarea alegerii celor mai raţionali purtători de energie, a parametrilor optimi şi a sistemelor optime de alimentare cu energie ;

— evaluarea resurselor energetice secundare şi fundamentarea valorificării eficiente a acestora ;

— preliminarea consumurilor specifice de energie de toate formele.

În condiţii de exploatare, utilizarea bilanţurilor energetice contribuie la creşterea nivelului tehnic al exploatării agregatelor şi instalaţiilor şi la fundamentarea măsurilor de creştere a randamentului acestora, precum şi a normelor de consum.

Aspecte de structură şi fiabilitate ale sistemelor energetice industriale. Dezvoltarea actuală a economiilor naţionale este însoţită de o creştere remarcabilă a puterilor electrice şi termice cerute de industrie. Se impun cerinţe deosebite de siguranţă şi economicitate la proiectarea reţelelor de alimentare cu energie a consumatorilor, reflectînd caracteristicile, complexitatea şi tehnicitatea ridicată a instalaţiilor consumatoare.

În cazul alimentării cu energie electrică a consumatorilor, este necesar să se ia în considerare, încă din faza de proiectare, aspectele legate de generarea în reţea a armonicilor superioare şi fluctuaţiile de tensiune provocate de unele instalaţii industriale, cum sînt convertizoarele şi cuptoarele electrice din metalurgie.

Fiabilitatea echipamentelor şi instalaţiilor tehnologice este legată organic de funcţionarea economică a acestora.

Măsurile de creştere a fiabilităţii prevăzute de proiectantul de echipamente, împreună cu măsurile tehnice şi organizatorice aplicate de personalul de exploatare, trebuie să concure la îmbunătăţirea regimurilor de funcţionare şi să aibă ca efect imediat reducerea consumurilor energetice.

Tendinţele moderne în proiectarea şi exploatarea sistemelor energetice industriale au în vedere tratarea unitară a instalaţiilor de alimentare şi a celor consumatoare de energie.

Conducerii operative a sistemelor energetice industriale îi sînt consacrate cinci rapoarte. Conform rapoartelor 4.3 (R.S.R.) şi 4.19 (R.P.P.), conducerea operativă trebuie să asigure controlul funcţionării în regim normal a parametrilor principali energetici, localizarea şi izolarea deranjamentelor produse în magistralele energetice, înregistrarea timpilor de staţionare din lipsa agenţilor energetici, înregistrarea consumurilor de energie, avertizarea în timp real a depăşirilor de nivel de consum energetic prescris.

În raportul 4.1 (U.R.S.S.) se subliniază rolul de transmitere de informaţii între nivelurile ierarhice, calculul indicatorilor tehnico-economici operativi, diagnoza comportării procesului tehnologic şi a echipamentului, iar în raportul 4.22 (R.P.P.) se insistă asupra atribuţiei de efectuare a manevrelor de comutaţie în instalaţiile energetice.

Conducerea operativă este privită ca un sistem integrat, pentru toţi agenţii energetici utilizaţi în întreprindere. În raportul 4.3 se atribuie introducerii unei instalaţii de supraveghere energetică centralizată reduceri ale timpilor de restabilire a alimentării cu 35 % şi ale consumului specific mediu de energie cu 13—16 %. Raportul 4.1 (U.R.S.S.) menţionează economiile de investiţii de 20—25 % prin telemecanizarea staţiilor de transformare în întreprinderi metalurgice ; de asemenea, dezvoltă problematica modelelor matematice şi a algoritmilor de calcul utilizaţi pentru evidenţa automată pe calculator a consumurilor energetice.

Raportul 4.19 (R.P.P.) analizează probleme de tehnică de calcul, inclusiv structura băncii de date a sistemului central de înregistrare şi prelucrare a datelor pentru calcule economice, precum şi pentru efectele economice obţinute la economia de combustibil şi energie, perfecţionarea produselor ş.a. Raportul consideră oportună elaborarea unor proceduri de calcul tipizate, specifice energeticii industriale.

Raportul 4.13 (R.P.U.) tratează conducerea energeticii unei fabrici de ciment cu ajutorul unor calculatoare de proces. Raportul preconizează optimizarea conducerii procesului, prezentînd rezultatele unor experimentări efectuate.

Organizare. Probleme generale de conducere. Relaţia organizare — consum specific de energie, cu aplicare într-o întreprindere textilă, este analizată în raportul 4.14 (R.P.B.).

Raportul 4.5 (R.S.R.) examinează influenţa organizării de şantier în activitatea de montaj al centralelor electrice asupra consumurilor de energie, cît şi căile de economisire a energiei în acest profil de activitate.

Rapoartele 4.8 (R.S.R.) şi 4.18 (R.P.P.) sînt consacrate unor probleme şi unor metode de adoptare a deciziilor de conducere în energetica industrială.

Raportul 4.8 (R.S.R.), considerînd marile combinate şi platformele industriale ca sisteme energotehnologice cu structuri complexe, delimitează cîte un subsistem energetic şi un subsistem tehnologic şi adoptă drept criteriu de decizie cantităţile de materii prime şi energie consumate şi ca obiectiv — maximizarea cantităţilor de produse furnizate, pentru întregul sistem energotehnologic.

Raportul 4.18(R.P.P.) tratează posibilităţile de utilizare a metodei PATTERN pentru prognoza dezvoltării structurii organizatorice a gospodăriei energetice a unei întreprinderi metalurgice.

Raportul 4.25 (R.D.G.) prezintă sferele activităţii de control desfăşurate de inspecţia Ministerului Minelor şi Energeticii din R.D.G.

Raportul 4.24 (R.D.G.) prezintă creşterea eficienţei de utilizare a purtătorilor de energie în noile instalaţii energointensive ca urmare a activităţii de normare a consumurilor de energie în R.D.G.

Raportul 4.31 (U.R.S.S.) este consacrat profilaxiei accidentelor prin electrocutare în energetica industrială, atît prin aprofundarea problemelor de psiho-fiziologie industrială, cît şi de ergonomie.

Criterii tehnico-economice şi probleme referitoare la gestiunea economică complexă. Raportul 4.11 (U.R.S.S.) prezintă o imagine de ansamblu a direcţiilor de perfecţionare a conducerii sistemelor energetice industriale, o sinteză a măsurilor destinate creşterii eficienţei şi calităţii conducerii. Raportul susţine o soluţionare complexă a problemelor de prognoză, planificare, proiectare şi conducere automată a proceselor energetice.

Raportul 4.16 (R.P.B.) propune un ansamblu de indicatori tehnico-economici şi economici, în vederea minimizării cheltuielilor pentru resurse energetice, cu ajutorul programării liniare.

Raportul 4.32 (R.P.P.) analizează utilizarea unor indici unitari de consum specific de energie în industrie. Raportul prezintă stadiul şi experienţa obţinută în ţările CAER în acest domeniu.

Raportul 4.12 (R.P.P.) prezintă planificarea investiţiilor din punctul de vedere al economiei de energie, precum şi indicatorii definiţi prin planificare şi corelarea cu finanţarea investiţiilor aferente.

Raportul 4.20 (U.R.S.S.) examinează criteriile tehnico-economice ale utilizării termoficării în industrie.

Raportul 4.30 (R.S.R.) prezintă criterii şi metode de calcul al eficienţei economice a trecerii unui consumator în regim tampon.

Probleme de bilanţuri energetice ale întreprinderilor industriale. Autorii raportului 4.28 (R.D.G.) arată că prin utilizarea metodei de „analiză complexă a proceselor", în cazul instalaţiilor de producere a metilaminei şi a metanolului la o uzină chimică din R.D.G., s-a obţinut o reducere a consumului specific de energie cu circa 45 % la metilamină şi, respectiv, 78 % la metanol.

Criterii originale şi valori aproximative pentru dimensionarea raţională a cuptoarelor de reducere, în vederea reducerii consumurilor de materii prime şi energie, se prezintă în raportul 4.23 (R.D.G.), pe baza bilanţului termic total şi a bilanţului electrotermic.

Corelarea continuă a necesarului de abur cu consumul într-o fabrică de celuloză şi hîrtie, alimentată cu abur de la centrala electrică de termoficare, echipată cu grupuri de contrapresiune, este tratată în raportul 4.15 (R.P.B.).

Raportul 4.17 (R.P.P.) face o clasificare a cauzelor care determină variaţia anuală a consumului purtătorilor de energie şi propune o metodă de prognoză a acestei variaţii, bazată pe un model de bilanţ de materiale şi energie.

O problemă similară este tratată în raportul 4.10 (R.S.C.), în care se expune o metodă de analiză în perspectivă a diagramelor de consum de energie electrică pentru marii consumatori industriali.

În raportul 4.24 se arată că în R.D.G. s-au întocmit peste 400 de normative de consumuri energetice, reunite în 42 standarde naţionale. Utilizarea acestora a contribuit la reduceri considerabile ale consumurilor energetice, în special la procesele cu degajări de căldură, procese de uscare şi la fabricarea cimentului.

Probleme de structură şi fiabilitate. O metodă eficientă de dimensionare a reţelelor de medie şi joasă tensiune, bazată pe tehnica modernă de calcul, se indică în raportul 4.29 (R.S.R.). Aplicarea acestei metode pentru două combinate chimice a condus la găsirea unor soluţii cu 20% mai economicoase.

Cunoașterea mărimii și frecvenței golurilor de tensiune în rețelele aeriene de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali oferă posibilitatea evaluării daunelor ce pot apărea la consumatorii respectivi și de care se ține seama la alegerea soluției optime, în funcție de specificul și cerințele de funcționare ale consumatorilor (raportul 4.9 — R.S.R.).

Pornind de la funcționarea nodurilor în sistemul de alimentare cu energie electrică, în raportul 4.2 (R.S.R.), se prezintă un model care permite optimizarea pe baza minimizării cheltuielilor totale actualizate.

În raportul 4.27 (R.D.G.) se expune o metodă de determinare a impedanței rețelei în locul de racord al instalațiilor de convertizoare.

Aspecte legate de generarea armonicilor superioare în rețelele electrice industriale, alături de alte probleme de proiectare a acestor rețele, se tratează și în raportul 4.22 (R.P.P.).

Creșterea fiabilității echipamentelor și instalațiilor tehnologice industriale și influența asupra consumurilor energetice ale acestora se tratează, pentru cazul instalațiilor de electroliză sodă-clor , în raportul 4.4 (R.S.R.).

O metodă probabilistică de estimare a „suprapunerii" perioadelor de topire, precum și rezultatele analizei funcționării a trei cuptoare de 140 t, în urma prelucrării datelor pe un calculator ODRA 1325, se prezintă în raportul 4.21 (R.P.P.).

Concluzii

Din cele expuse, precum și din analiza rapoartelor prezentate în cadrul Secției a 4-a, rezultă următoarele concluzii generale :

— Sistemele energetice industriale reprezintă sisteme cibernetice cu structuri complexe, care interacționează pe plan tehnologic, informațional și de decizie cu alte sisteme, cu mediul înconjurător și cu mediul social-economic.

— Structurarea și optimizarea conducerii acestor sisteme trebuie să se realizeze pe baza conceptelor și metodelor teoriei sistemelor, a cercetării operaționale și a altor discipline științifice adecvate.

— Perfecționarea conducerii sistemelor energetice industriale constituie o condiție a economisirii combustibilului și a energiei în industrie.

— Conducerea eficientă a sistemelor energetice industriale impune conceperea și analiza unor indicatori economici și tehnico-economici coerenți, utilizați și în politica tarifară pentru influențarea soluțiilor tehnice și de organizare.

— Exploatarea sigură și economică a sistemelor energetice industriale trebuie coordonată prin dispecer, cu funcțiuni specifice.

— Întocmirea și analiza bilanțurilor energetice, conjugate cu activitatea de normare a consumurilor energetice, constituie căi eficiente de reducere progresivă a pierderilor de energie.

— Creșterea fiabilității instalațiilor tehnologice contribuie la reducerea consumurilor specifice de energie.

Probleme supuse discuției în cadrul Secției a 4-a

Ținînd seamă de cele prezentate, se propun a fi supuse discuției următoarele probleme :

— Cît de extinse trebuie să fie funcțiunile sistemelor de conducere operativă centralizată a energeticii întreprinderilor industriale? Care trebuie să fie conexiunile informaționale între acestea și sistemele de conducere a proceselor tehnologice aferente?

— Se dispune de cifre de eficiență rezultate din perfecționarea conducerii sistemelor? Care sînt metodele de calcul și datele primare pe baza cărora au fost determinate aceste cifre?

— În diferite ramuri, tipuri de procese etc., se pot evidenția relații cantitative între parametrii organizării și consumurile specifice de energie?

— Ce experiență practică există în utilizarea unor metode moderne de optimizare a deciziilor de structură în energetica industrială?

— Care este experiența raporturilor și a atribuțiilor, privind economia de energie, între producător, consumator și organele de inspecție?

— Criteriile economice și tehnico-economice de analiză energetică au un corespondent satisfăcător în mecanismul decizional și în cel tarifar?

— În ce măsură și prin ce metode se reușește să se obțină verificarea rezultatelor optime efective, determinate prin metode de optimizare și prin indicatorii tehnico-economici?

— În ce ramuri și la care procese s-au întocmit și s-au analizat, pînă în prezent, bilanțuri exergetice? care este eficiența acestor bilanțuri?

— Care este situația normării consumurilor energetice, pe principalele ramuri industriale, și care este raportul acestora față de normativele de consumuri energetice unitare? (în cazul țărilor socialiste).

Criterii economice pentru reglarea curbelor de sarcină prin consumatori reglabili

Ing. **B. Marcu**,
Dr. ing. **E. Costin**,
Ing. **Sanda Herşcovici***)

Ritmul înalt de dezvoltare a economiei unei ţări reclamă o creştere corespunzătoare a sistemului energetic. Această creştere necesitînd investiţii mari, se impune o utilizare cît mai raţională a instalaţiilor energetice, mai ales a celor de producere a energiei electrice, utilizare care depinde, după cum se ştie, de forma curbelor de sarcină — de „umplerea" sau aplatisarea acestora.

Examinarea curbelor de sarcină realizate în sistemul energetic al R.S.R., fie că este vorba de forma curbelor zilnice, fie de curbele valorilor maxime sau medii ale puterilor pe perioade (de exemplu decadale), arată că aceste curbe se abat de la forma corespunzătoare utilizării optime a instalaţiilor. Aceste abateri fiind provocate de regimurile specifice de consum ale unor consumatori — vîrful de seară este determinat, spre exemplu, de apariţia sarcinii corespunzătoare iluminatului — compensarea lor necesită măsuri caracteristice de aplatisare a curbelor de sarcină.

Tehnicile aplatisării (reglării) curbelor de sarcină pot fi clasificate în cîteva categorii tipice :

— aplicarea de tarife diferenţiate în mod adecvat ;

— introducerea de consumatori reglabili sau tampon ;

— măsuri administrative şi de raţionalizare a consumului, mergînd pînă la măsuri de coerciţie administrativă.

Deoarece domeniile de folosire a tehnicilor menţionate nu se suprapun, aceste tehnici pot coexista, fiind folosite simultan, cu scopul obţinerii unei aplatisări cît mai avansate a curbei de sarcină.

Din clasificarea de mai sus rezultă că tehnicile de aplatisare sînt fie administrative, fie economice. Ceea ce diferenţiază măsurile de cointeresare tarifară a consumatorilor în aplatisare de măsurile de introducere a consumatorilor-tampon este faptul că în cazul ultimilor apare necesitatea unui proiect tehnic legat de lucrări suplimentare de investiţie, deoarece introducerea acestora are implicaţie atît în partea electroenergetică, cît şi în partea tehnologică a instalaţiilor. Această necesitate lipseşte în cazul cointeresării tarifare.

Rezultă de aici că :

Sînt denumiţi consumatori-tampon (sau consumatori reglabili) acei consumatori de energie electrică în instalaţiile cărora se efectuează, pe bază de justificări economice, lucrări de majorare a capacităţii de producţie a întregului flux tehnologic sau numai a unor verigi ale acestuia, cu scopul de a realiza aceeaşi cantitate de producţie într-un timp mai scurt decît o zi (sau un an) ; în timpul suplimentar, consumul urmează a fi întrerupt (total sau parţial) ; timpul de întrerupere a consumului urmează să coincidă cu perioadele de vîrf de sarcină în sistemul energetic.

În funcţie de perioada de reducere a consumului, consumatorii-tampon pot fi cu reglaj zilnic al curbei de sarcină sau cu reglaj anual al curbei.

Consumatorii care îşi reglează consumul întregului flux tehnologic sînt denumiţi consumatori independenţi ; cei care participă la reglarea consumului numai cu o parte a fluxului sînt consumatori integraţi.

Fie independenţi, fie integraţi, consumatorii pot deveni reglabili numai în condiţiile în care cheltuielile necesitate de majorarea capacităţilor de producţie, de crearea suprafeţelor suplimentare de stocare intermediară (depozite), de trecere de la funcţionare continuă la un anumit regim de funcţionare variabilă sînt compensate de avantajele rezultate prin reducerea puterii de vîrf în sistemul energetic şi prin sporirea eficienţei utilizării combustibilului datorită măririi gradului de aplatisare a curbei de sarcină.

Domenii de utilizare eficientă a consumatorilor-tampon în industria R.S.R.

O analiză oricît de sumară a exigenţelor economice pentru trecerea unui consumator în regim tampon arată că :

a) nu orice consumator este apt pentru a trece în regim tampon ;

b) în general, eficienţa trecerii este cu atît mai mare cu cît consumul specific de energie electrică este mai mare.

În concordanţă cu aceste constatări, cercetarea literaturii de specialitate permite evidenţierea anumitor procese industriale şi neindustriale în care apariţia de consumatori-tampon este mai frecventă. Pot fi astfel citate : producţia azotului, aluminiului, magneziului, clorului (consumuri specifice de 14—17 mii kWh/t), carburii de siliciu (10 mii kWh/t), a plumbului, carburii de calciu (carbid), nichelului (3500—4200 kWh/t), staţiile de pompare pentru irigaţii.

De asemenea, este frecventă utilizarea în regim-tampon a diferitelor tipuri de cuptoare : cuptoare metalurgice, de feromangan (fero-

*) Ing. Bernard Marcu este director adjunct al Direcţiei tehnice din M.E.E. ; dr. ing. Emil Costin este inginer proiectant principal II la ISPE ; ing. Sanda Herşcovici este inginer proiectant principal III la ISPE.

aliaje în general), de silicat de mangan, de nichel, cuptoare de carbid, a pompelor de evacuare a apei din mine, a unor procese din industria chimică, din industria celulozei și hîrtiei (defibratoare).

În țara noastră, acțiunile de raționalizare a consumurilor energetice și a curbelor de sarcină au utilizat toate mijloacele tehnice cunoscute; printre acestea, acțiunea de introducere a consumatorilor-tampon a fost începută cu mai mulți ani în urmă, într-o primă etapă în industria chimică: în procesul de cracare prin arc a acetilenei și în procesul de producere a carbidului, precum și în industria cimentului.

Cu toate că instalațiile nu au funcționat tot timpul anului conform prevederilor inițiale, din anumite cauze locale de ordin tehnologic, totuși se pot evidenția o serie de avantaje, atît pentru sistemul energetic cît și pentru economia națională, care au apărut tocmai datorită funcționării acestor consumatori în regim de consumator-tampon:

— prin reducerea puterii de vîrf în medie cu 70 MW nu a mai fost necesară instalarea într-o centrală de vîrf a unei puteri de circa 100 MW, ceea ce a adus după sine o economie de 450 mil. lei, sumă ce a căpătat o altă destinație în cadrul economiei naționale, și o economie de combustibil de 24 000 t c.c./an;

— prin utilizarea regimului de consumator-tampon, M.E.E. a acordat reduceri de tarif la energia electrică consumată de întreprinderile și combinatele respective, suma totală ridicîndu-se la valoarea de 40 mil. lei, ceea ce a avut ca efect scăderea costului produselor respective (ciment, carbid, p.v.c. etc.).

Analizîndu-se avantajele ce le poate aduce utilizarea regimului de consumator-tampon, s-a trasat sarcina să se depună eforturi pentru crearea de noi consumatori de acest fel.

Se poate arăta, spre exemplu, că instalația de cracare prin arc a acetilenei funcționînd pe bază de grafic-tampon impus determină de mai mulți ani o reducere zilnică a vîrfului de sarcină cu aproximativ 40 MW.

Apariția consumului important de energie electrică pentru irigații a reprezentat introducerea în sistem a unui nou și important consumator-tampon, a cărui funcționare are loc în afara vîrfurilor de sarcină ale sistemului energetic.

Mai recent a fost întreprinsă o nouă acțiune pentru evidențierea unor posibilități încă nevalorificate în domeniul consumatorilor-tampon, examinîndu-se cu această ocazie consumatorii din industria metalurgică, din industria celulozei-hîrtie, din industria chimică și din industria extracției de petrol-gaze.

În cadrul acestei acțiuni s-a evidențiat utilitatea economică a trecerii în regim-tampon a cuptoarelor de oțel electric, cel puțin a celor care funcționează în regim de topire propriu-zisă. Avantajele obținute de sistemul energetic s-ar cifra în acest caz la 400 MW reduși la vîrful de sarcină pe sistem, avantajul economiei naționale fiind evaluat la peste două miliarde lei fonduri de investiții.

A fost de asemenea evidențiată posibilitatea de a trece în regim-tampon și alți consumatori, de puteri mai mici. Trebuie arătat că puterea totală care ar urma să fie redusă la vîrful sistemului energetic datorită acestor noi consumatori-tampon (exceptînd cuptoarele de oțel electric) ar fi de ordinul 13,5 M W. Cheltuielile suplimentare de investiții în tehnologie aferente acestor puteri reduse au fost evaluate la circa 18,7 milioane lei; investiția specifică rezultată, de 1400 lei/kW, este de peste două ori inferioară investițiilor pentru echiparea oricăror centrale electrice.

Calculul eficienței economice a trecerii unui consumator în regim-tampon

Stabilirea oportunității economice a trecerii unui consumator în regim-tampon are loc pe bază de calcule economice comparative.

Criteriul de apreciere a eficienței economice comparative îl constituie mai adesea criteriul minimizării cheltuielilor totale actualizate, a cărui expresie generală aplicabilă fiecăreia dintre variantele comparate este:

$$A = \sum_{i=0}^{n} [I_i + C_i - V_{ri} - V_i] (1+a)^{m-x} - W(1+a)^{-n} \qquad (1)$$

în care

n este perioada de calcul

m — momentul actualizării; $<1 \leqslant m \leqslant n>$

i — momentul (anul) curent; $<0 \leqslant i \leqslant m>$

I_i — investiția;

C_i — cheltuiala anuală curentă;

W_{ri} — valoarea reziduală a fondurilor fixe dezafectate;

V_i — valoarea eventualelor venituri obținute în instalație;

W — valoarea remanentă în momentul n (cotaparte din valoarea instalațiilor rămasă utilă la sfîrșitul perioadei de calcul).

Pentru necesitățile calculelor consumatorilor-tampon, relația (1) poate suferi importante simplificări, ajungînd în cazul cel mai curent la forma:

$$A = I + C \frac{1}{a} \qquad (2)$$

în care:

I — investiția aferentă, efectuată în anul $i=0$;

C — cheltuiala curentă anuală, considerată constantă pentru orice an viitor.

Pentru relația (2) se consideră $n \to \infty$.

Studiile pentru trecerea în regim-tampon evidențiază în primul rînd acele variante care sînt tehnic acceptabile, în care procesul tehnologic

suferă modificări în sensul amplificării unora din elemente, astfel ca producţia totală să fie nemodificată. Pentru fiecare din aceste variante tehnic acceptabile, se determină cîte o variantă-martor, în care se evidenţiază suplimentele de cheltuieli energetice necesare în ipoteza că dimensionarea consumatorului este cea normată (consumator simplu)

Cele două variante sînt apoi supuse calculului economic comparativ, prin aplicarea relaţiilor (1) sau (2), în urma căruia rezultă varianta ce prezintă economicitatea cea mai mare între :

A_{ct} — cheltuielile totale în varianta consumator-tampon ;

A_{cs} — cheltuielile totale în varianta consumator simplu, sau

$$Z = min\ [A_{ct}, A_{cs}] \qquad (3)$$

Calculul mărimilor de introdus în relaţiile (1) sau (2) pentru determinarea A_{ct} necesită examinări ale fiecărui proces tehnologic concret, care este supus analizei ; aceste mărimi nu pot fi prevăzute ; în schimb, calculul parametrilor necesari determinării A_{cs} poate fi în principiu formalizat şi încadrat într-un model matematic în funcţie de principalii parametri electrici interesaţi :

P — puterea redusă în timpul vîrfului ;
n — durata reducerii acestei puteri.

Fără a intra în demonstraţii de detaliu, ne mărginim să arătăm că pentru varianta consumator simplu sînt valabile relaţiile :

$$I_\Sigma = min_j\ [I_j]_{dim} + max._j\ [I_j]\ s \qquad (4)$$

în care :

I_Σ — investiţia totală
$[I_j]_{dim}$ — investiţia aferentă reducerii la vîrful de dimineaţă în luna j ;
$[I_j]_s$ — investiţia aferentă reducerii la vîrful de seară în luna j.

Structura mărimilor $[I_j]$ este :

$$[I_j] = P_j \cdot K_{sist} \cdot K_{inst} \cdot \frac{(3t_j - 2)\, n_j - t_j}{t_j (t_j - 1)}, \qquad (5)$$

în care mărimile P_j, K_{inst}, t_j, n_j primesc valori diferite pentru perioada de dimineaţă şi de seară.

Semnificaţiile mărimilor încă neprecizate sînt :

K_{sist} — coeficient ce indică puterea necesar a fi instalată spre a furniza 1 kW la consumator ; $K_{sist} = 1{,}44$;

K_{inst} — costul puterii instalate ; pentru vîrful de dimineaţă, se consideră costul puterii de bază, iar pentru vîrful de seară — costul puterii de vîrf ;

t_j — durata vîrfului, echivalentă duratei maxime necesare de întrerupere a consumatorului-tampon ;

n_j — durata de întrerupere a consumatorului-tampon.

$$n_j \leqslant t_j$$

Calculul diferiţilor parametri are loc pentru fiecare lună j în parte.

Pentru cheltuielile curente :

$$C = \sum_{j=1}^{n} P_j, n_j\, (k_v - k_{rest})\, K_{comb} \cdot N_j, \qquad (6)$$

în care :

N_j este numărul de zile lucrătoare în luna j ;

k_v, k_{rest} — consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice, respectiv în perioada de vîrf, şi în restul timpului zilei ;

K_{comb} — preţul unei unităţi de combustibil.

În condiţiile în care, pentru acelaşi consumator, se examinează mai multe variante de regim-tampon (w variante), după efectuarea tuturor calculelor se obţin w rezultate Z ; în unele dintre acestea rezultă mai avantajos regimul tampon ; notînd aceste cazuri $Z_{a.i}$, varianta adoptată în final va fi :

$$(Z\ c.t.)_{adopt} = Max\ (Z_{ct.i}) \qquad (7)$$

Poziţia consumatorilor faţă de adoptarea regimului tampon

Este evident că în toate cazurile Z_{ct1} regimul tampon prezintă avantaje pentru economia naţională ; relaţia (6) maximizează aceste avantaje.

Din această concluzie nu rezultă însă şi avantajele pe care le obţine fiecare consumator afectat de regimul tampon.

Într-adevăr, adoptarea acestui regim implică pentru consumator anumite eforturi suplimentare, atît în ceea ce priveşte realizarea investiţiilor suplimentare menţionate mai sus, cît şi în legătură cu întregul flux tehnologic. Trecerea de la un regim de consum constant la un regim variabil este în general legată de reduceri ale productivităţii şi ale consumurilor specifice de materii şi materiale care afectează de obicei în mod negativ costul producţiei, chiar dacă pentru economia naţională în ansamblu regimul prezintă avantaje.

Apare deci necesară acordarea unor avantaje tarifare consumatorilor care funcţionează în regim tampon, în vederea cointeresării acestora la realizarea unei măsuri eficiente pentru economia naţională.

Regulamentul de utilizare a energiei electrice, astăzi în vigoare, prevede asemenea avantaje

tarifare pentru consumatorii-tampon. Analiza acestora, ca și a practicii curente, arată că modalitățile prevăzute în regulament sînt greoaie și insuficient de convingătoare, astfel încît se întîlnesc în practică suficiente cazuri în care consumatorii preferă să găsească alte căi de obținere a unor avantaje tarifare.

De aceea considerăm oportun a prezenta pentru această problemă o soluție alternativă, epurată de dezavantajele metodei actualmente în uz.

Principiul de bază al soluției propuse este că bonificația tarifară acordată consumatorului trebuie să se afle într-o relație directă și strictă cu avantajul pe care îl obține sistemul energetic ca urmare a funcționării acestuia în regim-tampon. Se consideră deci oportun să se calculeze bonificația ca o mărime independentă de restul consumului consumatorului, mărime ce trebuie să fie funcție de principalii parametrii de reducere P și n (putere redusă și durată a reducerii).

Bonificația trebuie să fie deci proporțională cu cheltuielile pe care economia națională le scutește prin introducerea regimului-tampon (vezi relațiile (4), (5) și (6) de mai sus). Dacă se ține seama că bonificația B_Σ este compusă din doi factori aditivi, reprezentînd bonificațiile pentru reduceri la vîrful de dimineață, B_{dim}, și de seară, B_s :

$$B_\Sigma = B_{dim} + B_s \qquad (8)$$

forma matematică a oricăruia dintre cei doi factori este :

$$B = 0{,}8\,(\alpha + \beta t\ N)\,p\,\frac{(3\,t-2)-t}{3\,t\,(t-1)}, \qquad (9)$$

în care mărimile se referă la o anumită lună și la perioada din zi (dimineața, seara) pentru care se efectuează calculul. Semnificațiile diferitelor simboluri sînt cele prezentate mai sus, cu excepția mărimilor α și β, care sînt coeficienți cu valori diferite pentru dimineața și seara.

Se observă că relația (9) este o funcție liniară de variabilele principale :

$$B = VP(Wn - Y), \qquad (9')$$

asigurînd astfel proporționalitatea dintre efectele obținute și bonificațiile acordate.

Alte forme de reglare a consumului ce pot fi utilizate

În cele de mai sus a fost examinată utilizarea pentru aplatisarea curbei de sarcină a reducerii programate a solicitării de putere între anumite ore ; această modalitate de a micșora cheltuielile de investiții în sistemul energetic menținînd același nivel de siguranță al alimentării consumatorilor, nu este însă singura modalitate posibilă.

Literatura de specialitate arată că în anumite țări (de exemplu Marea Britanie) se practică sistemul de a reduce sarcina unor consumatori după un anumit preaviz, cu condiția ca fiecare caz să nu depășească o anumită durată (în anumite sisteme o jumătate de oră, în altele pînă la două ore), iar numărul total de restricții anuale să nu depășească o anumită cifră : 40—100 ori pe an. Pentru acest regim consimțit de consumatori, aceștia primesc în schimb avantaje tarifare.

Examinări preliminare efectuate pentru introducerea unui regim asemănător și în țara noastră au arătat că astfel de procedee permit să se obțină același nivel de siguranță al alimentării consumatorilor chiar în condiții de scădere reală a nivelului puterii instalate în sistem. În prezent este în curs elaborarea modelului matematic care să descrie aceste regimuri ; acest model va permite să se evalueze numeric valorile diferiților parametri ce urmează a se adopta pentru aplicarea practică a acestui tip de regimuri.

*

În concluzie este de subliniat că avantajele economice pe care le poate aduce sistemului energetic, și deci economiei naționale, utilizarea variatelor forme de consumatori-tampon (consumatori reglabili) cunoscute merită din plin atenția specialiștilor în domeniul energeticii industriale.

Regimul de consumator-tampon permite consumatorilor mari de energie electrică să obțină reduceri ale prețului energiei în condiții de calitate ridicată a alimentării. În același timp, întreaga economie națională cîștigă, reducîndu-și efortul de investiție în ramura energiei electrice.

Metode de optimizare a soluțiilor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali

Ing. **Horia Crișciu**
Ing. **Alex Pană**
Matem. **Liana Bilegan**
Ing. **Simina Lazăr** *)

În articolul de față se vor trece în revistă cîteva probleme privind organizarea sistemului de distribuție intern sub aspectul optimizării instalațiilor electrice în ansamblu.

În ultimii ani se observă din ce în ce mai mult creșterea puterilor necesare alimentării marilor întreprinderi industriale. Totodată se constată că rețelele de medie și joasă tensiune din incinta acestor întreprinderi capătă proporții deosebite, atît ca dimensionare din punctul de vedere al secțiunilor, cît și ca întindere.

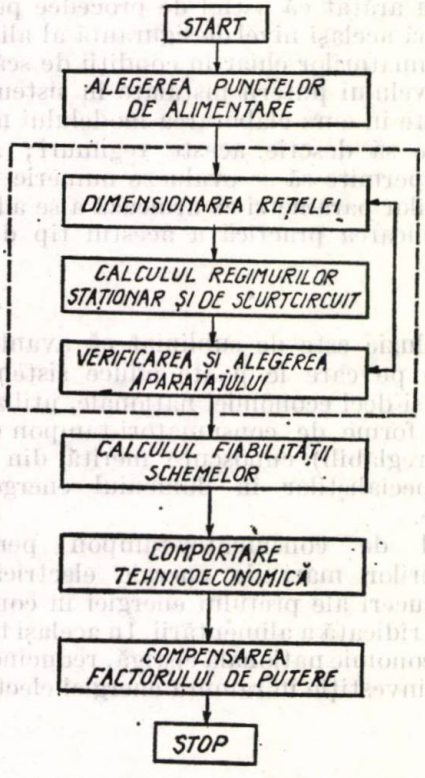


Fig. 1. Diagrama-bloc a metodologiei de optimizare a sistemului de alimentare cu energie electrică a întreprinderilor industriale.

În consecință, în continuare se va prezenta un procedeu nou, care să permită realizarea unui sistem de distribuție a energiei electrice optim. Este vorba de o metodă nouă, bazată pe tehnica modernă de calcul, pentru calculul, analiza și compararea mai multor variante de scheme de distribuție care să permită obținerea soluției optime și a altor soluții optimale. În figura 1 se prezintă schema-bloc a tuturor problemelor ce vor fi luate în considerare.

*) Autorii sînt cercetători științifici la ICEMENERG.

Amplasarea geografică a posturilor de transformare în incinta combinatului industrial

Pentru stabilirea amplasamentului optim al posturilor de transformare ale unei rețele de mare întindere, în care numărul variantelor posibile din punct de vedere tehnic este foarte mare, este indicat a se utiliza un calcul de optimizare folosind tehnica modernă. Pentru stabilirea soluției optime, se va utiliza o procedură de exploatare prin separare și evaluare progresivă, care permite explorarea completă a tuturor deciziilor posibile.

Se consideră o incintă de forma prezentată în figura 2.

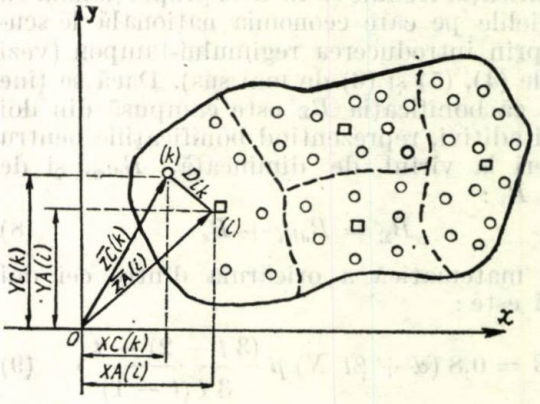


Fig 2 :
○ puncte de consum ;
□ puncte de alimentare ;
—— incinta combinatului ;
– – – incinta sectoarelor

Se notează :

NC — numărul consumatorilor ;
NPA — numărul posturilor de transformare ;
$PC(k)$ — puterea consumatorilor ($k = 1, \ldots, NC$) ;
$P(i)$ — puterea posturilor de transformare ($i = 1, \ldots, NPA$) ;
$XA(i)$, $YA(i)$ — coordonatele geografice ale puterilor ($i = 1, \ldots, NPA$) ;
$XC(k)$, $YC(k)$ — coordonatele geografice ale consumatorilor ($k = 1, \ldots, NC$).

Amplasarea celor NPA posturi se va face astfel ca valoarea funcției-obiectiv de mai jos să fie minimă :

$$\sum_{i=1}^{NPA} \sum_{k=1}^{NC} PC_i(k)\, D_{ik} = min\,! \qquad (1)$$

unde :

$PC_i(k)$ este puterea consumatorului k conectat la punctul de alimentare i ;
D_{ik} — distanța de la punctul de alimentare i la consumatorul k.

Minimul se realizează cu îndeplinirea următoarelor restricții :

a) un consumator să fie alimentat de la un singur post de transformare (rețea arborescentă) ;

b) suma puterilor $PC(k)$ a consumatorilor k alimentați din postul i să fie mai mică sau cel mult egală cu puterea instalată $P(i)$ a acestui post

$$\sum_{k \in i} PC(k) \leqslant P(i)$$

Mulțimea consumatorilor (k) alimentați de la un același post se va numi „sector de alimentare", iar postul respectiv va fi numit „centru de alimentare".

În consecință, fiind date puterea și amplasamentul consumatorilor, se determină :

— amplasarea posturilor de transformare ;

— consumatorii ce se alimentează de la fiecare post.

Rezolvarea problemei constă în parcurgerea a doi pași :

a) fiind date centrele de alimentare, se vor determina sectoarele de alimentare ;

b) în cadrul fiecărui sector de alimentare se va determina noua poziție a centrului de alimentare.

Acești doi pași se reiau succesiv pînă cînd valoarea funcției-obiectiv (1) va atinge minimul.

Dimensionarea rețelei de alimentare

Pentru dimensionarea rețelelor s-a pornit de la următoarele date cunoscute :

— puterea și amplasarea posturilor de transformare ;

— puterea și amplasarea consumatorilor ;

— tipul circuitelor de alimentare a aparatelor de comutație, caracteristici de montaj etc.

Calculul se face pentru o rețea de tip radial. Pe baza datelor inițial cunoscute sau calculate, se trece la determinarea următoarelor :

$$S_{max} = P_{max} / k \cos \varphi \qquad (2)$$

$$T = A / k \cdot P_{max} \qquad (3)$$

$$\tau = f\ (T, \cos \varphi) \qquad (4)$$

$$S_1 = (S_{max}/U_n) \cdot \sqrt{\frac{\tau \rho \beta}{10\ n(P_{am} + P_n)}} \qquad (5)$$

$$I_{max} = P_{max}/(k \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}95 \cdot U_n \cdot \cos \varphi) \qquad (6)$$

$$S_2 = I_{max}/J_{ec} \qquad (7)$$

unde

S_{max} este puterea aparentă maximă (kVA) ;

P_{max} — puterea activă maximă ce se transportă pe conductor (kW) ;

$\cos \varphi$ — factorul de putere ;

K — număr de conductoare în paralel ;

A — aria de sub curba de sarcină anuală (kWh) ;

ρ — rezistivitatea ($\Omega mm^2/km$) ;

β — prețul pierderilor ;

n — coeficient ce ține seama de dependența cheltuielilor pentru construcția liniei în raport cu secțiunea conductoarelor (lei/kWh) ;

P_{am} — valoarea procentuală a cotei de amortizare ;

P_n — valoarea procentuală a coeficientului de eficiență economică (10%) ;

T — durata de utilizare a vîrfului de sarcină (h) ;

τ — timpul de pierderi ;

I_{max} — curentul de durată maxim admisibilă (A) ;

J_{ec} — densitatea economică (A/mm^2) ;

U_n — tensiunea nominală (kV) ;

S_1 — secțiunea economică (funcție de cheltuielile minime totale) ;

S_2 — secțiunea economică (funcție de J_{ec}).

Se alege secțiunea minimă :

$$S = min\ (S_1,\ S_2) \qquad (8)$$

Se trece la verificări referitoare la curentul maxim admisibil.

În continuare se face alegerea aparatajului de comutație pe baza curentului maxim admisibil și a tensiunii nominale. Odată dimensionată rețeaua și mai ales aparatajul de comutație, se va trece la verificări din punctul de vedere al căderii de tensiune, pierderilor de putere, al stabilității termice și dinamice.

Rețeaua fiind dimensionată, se trece la programul pentru determinarea regimului staționar și pentru calculul curenților de scurtcircuit.

Regimul permanent. Ecuațiile nodale neliniarizate de gr. II sînt rezolvate printr-o metodă de aproximări succesive

$$\underline{U}_i^* \cdot \sum_{j=1}^{N} \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j - \underline{S}_j^* = 0\ (i = 1, \ldots, N) \qquad (9)$$

Programul de calcul calculează :

— circulația de puteri ;

— tensiunile nodale :

— pierderile de putere activă și reactivă.

Regimul de scurtcircuit. La baza metodei pentru calculul curenților de scurtcircuit stă principiul suprapunerii a două regimuri :

— regimul precedent de încărcare provocat de sursele de tensiune ale generatoarelor (regim permanent) ;

— regimul de scurtcircuit provocat numai de o singură sursă din nodul schemei considerat, și anume de curentul de scurtcircuit.

Programul calculează :

— curenții și puterile de scurtcircuit în nodurile rețelei ;

— tensiunile nodale remanente ;

— circulația curenților de scurtcircuit.

Fiabilitatea schemelor de distribuție

După verificarea elementelor rețelei și a aparatajului, se trece la determinarea indicatorilor de fiabilitate necesari estimării valorice a daunelor eventuale provocate de nelivrarea energiei electrice în cantitatea și calitatea cerută.

Metoda folosită pentru calculul siguranței este bazată pe procesele stocastice Markov.

Pentru aceasta este necesar a se rezolva sistemul de ecuații algebrice :

$$|Y| \cdot |P_i| = 0$$
$$\sum_{i=1}^{N} P_i - 1 = 0 \qquad (10)$$

în care

Y este matricea intensităților de tranziție ;

P_i — matricea probabilităților absolute ;

N — numărul de stări.

Pentru construirea lui $|Y|$ se consideră cunoscute intensitățile de defectare λ_i și de revenire μ_i ale elementului i.

După rezolvarea sistemului (10) se calculează indicatorii de fiabilitate :

— probabilitatea stării de succes

$$F_1 = \sum_{i=1}^{S} P_i \qquad (11)$$

— probabilitatea stării de refuz :

$$F_2 = \sum_{i=S+1}^{N} P_i \qquad (12)$$

— durata totală de succes în intervalul $(0, T)$

$$F_3 = F_1 \cdot T \qquad (13)$$

— numărul mediu al refuzurilor sistemului în intervalul $(0, T)$.

Pe baza indicatorilor de fiabilitate se face un calcul al daunelor probabile în cadrul nelivrării energiei pentru fiecare variantă de schemă de rețea, după care se trece la compararea tehnico-economică folosind programarea dinamică discretă pentru generarea de noi soluții tehnice.

Metodologia de comparare economică a diferitelor soluții proiectate în vederea determinării soluției optime

Principiul pe care se bazează evaluarea economică constă într-o însumare pe toată durata de exploatare a tuturor investițiilor și cheltuielilor de exploatare, afectate unei anumite soluții, actualizate la primul an al perioadei de studiu.

Valoarea cheltuielilor totale actualizate A a soluției j în anul N este :

$$A_{jN} = \sum_{i=1}^{N} I_{ji} (1 + a)^{-i} + \sum_{i=1}^{N} C_{ji} (1 + a)^{-i} -$$
$$- \sum_{i=1}^{N} V_{\tau ji} (1+a)^{-i} + \sum_{i=1}^{N} D_{ji} (1+a)^{-i} \ldots\ldots \qquad (14)$$

unde

I_{ji} este volumul investițiilor din anul i pentru soluția j ;

C_{ji} — cheltuieli anuale în anul i pentru soluția j ;

$V_{\tau ji}$ — valori reziduale în anul i pentru soluția j ;

D_{ji} — valoarea daunelor în anul i pentru soluția j ;

N — numărul de ani ai perioadei de studiu ;

a — rata de actualizare ;

i — anul curent.

O parte mai delicată o constituie estimarea costurilor pe care le implică trecerea într-un anumit an de la o soluție la alta. Subliniem în mod special că programarea dinamică discretă este calea de generare a noi soluții, care pot fi mai economice decît soluțiile luate inițial în considerare. Acest procedeu determină primele soluții optimale. Aceste soluții cuprind atît soluții fundamentale cît și treceri de la o soluție fundamentală la alta.

Compensarea factorului de putere

Algoritmul și programul de calcul realizat își propune amplasarea optimă a surselor de putere reactivă.

Puterea reactivă a bateriilor care se vor amplasa în fiecare nod al rețelei este determinată de minimizarea cheltuielilor de calcul :

$$A_c = a I_c + C_c, \qquad (15)$$

unde

a este coeficient normat al eficienței economice ;

I_c — investiții aferente bateriilor de condensatoare ;

C_c — cheltuieli anuale de exploatare (în acest coeficient sînt incluse și pierderile de energie în bateriile de condensatoare).

Minimizarea cheltuielilor se face ţinînd seama de restricţiile :

$$Q^i_{mt} \geqslant 0 \qquad (16)$$
$$Q^j_{jt} \geqslant 0$$
$$\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{L} (Q^i_{mt} + Q^j_{jt}) = Q_c \qquad (17)$$

Q^i_{mt} — puterea condensatorului instalat într-un punct i pe medie tensiune ;
Q^j_{jt} — puterea condensatorului instalat într-un punct j pe joasă tensiune ;
Q_c — puterea reactivă ce trebuie compensată.

Minimizarea (15) cu restricţiile (16) şi (17) constituie o problemă clasică de programare pătratică, care se va rezolva cu ajutorul multiplicatorilor Lagrange.

Concluzii

Aplicarea practică a metodologiei constă în parcurgerea următoarelor etape :

1. Prepararea datelor necesare amplasării optime a posturilor.
2. Amplasarea optimă a posturilor.
3. Pregătirea datelor necesare dimensionării reţelelor şi aplicarea algoritmului de dimensionare şi verificare.
4. Verificarea din punct de vedere termic şi dinamic.
5. Se reiau punctele 1—4 de cîte ori se stabileşte o variantă de reţea.
6. Pentru fiecare variantă de reţea se aplică metoda de calcul a indicatorilor de fiabilitate.
7. Determinarea daunelor pentru fiecare variantă de reţea.
8. Aplicarea algoritmului de comparare tehnico-economică şi determinarea soluţiei optime.
9. Compensarea factorului de putere pentru soluţia optimă.

Programele de calcul pentru fiecare pas al metodologiei sînt scrise în limbaj FORTRAN-IV. Metodologia a fost aplicată la combinatele chimice din Tg. Mureş şi Săvineşti, rezultînd o soluţie optimă cu circa 20 % mai economică decît soluţia existentă.

Fundamentări ale problemelor decizionale în organizarea şi conducerea sistemelor energotehnologice

Ing. O. Ţuţuianu *)

Marile combinate şi platformele industriale reprezintă sisteme energotehnologice cu structuri complexe, care interacţionează, pe plan tehnologic, informaţional şi de decizie cu structuri similare, cu mediul înconjurător şi cu mediul social-economic.

Sistemul energotehnologic (SET) are caracter de sistem cibernetic ; structura sa internă este compusă din două subsisteme — SSE (subsistem energetic) şi SST (subsistem tehnologic), legate organic între ele, iar pe plan extern el operează între SFR (sistem furnizor de resurse) şi SCP (sistem consumator de produse) [6].

Ambele subsisteme din structura internă a SET sînt constituite din reuniuni de subsisteme cibernetice ireductibile (locuri de muncă), al căror model matematic este dat de expresia :

$$S_m = \{(X, Y) \mid A\}, \qquad (1)$$

în care

$x \in X$ reprezintă obiectul muncii înainte de transformare ;
$y \in Y$ — obiectul muncii după transformare ;
$A = A_1 \oplus A_2$, unde A_1 este operatorul forţei de muncă, iar
A_2 — operatorul mijlocului de muncă [3].

Funcţia-obiectiv (de eficienţă) a unui SET este de forma :

$$F_E = F(N_t, \dot{I}_t, c_t, \tau_t), \qquad (2)$$

în care

N_t este mulţimea obiectivelor propuse ;
$\dot{I}_t$ — mulţimea variabilelor ce indică investiţia relativă la produsele N_t ;
c_t — mulţimea variabilelor ce indică costurile de producţie N_t ;
τ_t — timpul de recuperare a investiţiilor.

Funcţionarea optimă a sistemului energotehnologic presupune desfăşurarea producţiei fără perturbaţii, existenţa unui echilibru permanent între posibilităţile reale ale unităţii productive şi cantitatea de produs ce urmează a fi programată pentru perioada de timp respectivă, în conformitate cu relaţia :

$$KC_p = N\big|_0^T, N(\mathrm{T}) - N(0) = \text{maxim}, \qquad (3)$$

* Ovidiu Ţuţuianu este inginer principal în cadrul Direcţiei tehnice din Ministerul Energiei Electrice.

unde

K reprezintă indicele de utilizare a capacității de producție;

C_p — capacitatea de producție;

N — producția realizată;

T — perioada de referință, $T \in (0, t)$.

După cum rezultă din relația de mai sus, eficiența este maximă cînd $K = 1$, deci atunci cînd nu se înregistrează perturbații.

Probabilitatea de întrerupere a procesului industrial la locul de muncă este generată de:

— subsistemul forță de muncă — om;

— subsistemul mijloace de muncă — agregate, instalații;

— semnalele de intrare—materii prime, combustibili, energie, semifabricate etc.

Pentru optimizarea funcției-obiectiv a SET, este necesar ca structura internă a sa să opereze și să transforme în mod eficient fluxurile de materii, energie și informații.

Soluția optimă pentru structura internă a sistemelor energotehnologice se obține la capătul unui lanț de etape ale procesului decizional, reprezentabil printr-un graf ADC de dimensiuni reduse, de genul celui arătat în figura 1 [2].

Acest deziderat impune o gîndire nouă în dimensionarea structurii interne a SET, care trebuie să conducă la un înalt grad de organizare a SSE, la un nivel asemănător sau chiar superior celui aferent SST.

Problema decizională pe care ne-o propunem spre rezolvare este alegerea variantei optime pentru structura internă a unui SET. Drept criteriu de decizie se consideră cheltuielile totale actualizate — cu componentele principale de investiții și cheltuieli cu combustibilul — ocazionate de sistemul energotehnologic, iar ca obiectiv maximizarea cantităților de produse furnizate de SET sistemului consumator.

La compararea variantelor analizate se are în vedere că întreruperile survenite în funcționarea atît a SSE cît și a SST au consecințe negative asupra realizării obiectivului propus.

Pentru estimarea „utilităților" corespunzătoare diferitelor variante, se recurge la analiza stărilor entropice [3], determinînd nivelul entropiei introduse în SSE și în SET, de fiecare stare a naturii ca factor perturbator. Valorile

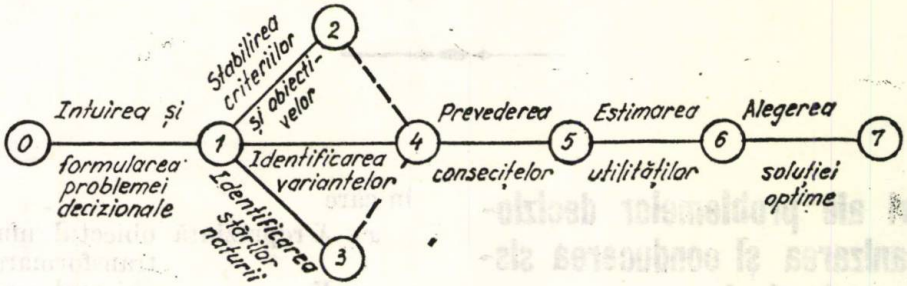


Fig. 1. Etapele procesului decizional.

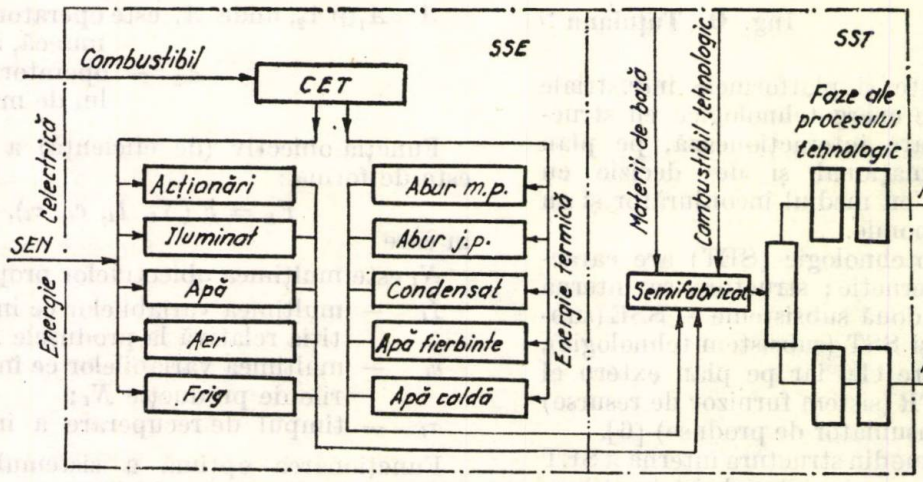


Fig. 2. „Intrările" și „ieșirile" aferente unui SET.

În perioada actuală, penuria de combustibili pe plan mondial reclamă o schimbare a orientării în organizarea și conducerea sistemelor energotehnologice, în sensul reducerii și raționalizării la maximum posibil a cantităților de combustibili și energie prelucrate.

cheltuielilor totale actualizate se consideră proporționale cu nivelurile stărilor entropice.

*

Pentru exemplificare se consideră două variante pentru structura internă a SET, în care „intrările" și „ieșirile" sînt cele arătate în figura 2.

Entropiile introduse în SST şi SSE de forţa de muncă, mijloacele de muncă şi de obiectul muncii, ca factori perturbatori, se calculează cu relaţia :

$$H(p,q) = -\left[p \cdot \log_2 \frac{1}{p} + q \cdot \log_2 \cdot \frac{1}{q}\right], \quad (4)$$

în care

q reprezintă probabilitatea de nefuncţionare ;

$p = 1 - q$ — probabilitatea de funcţionare normală.

Entropia totală a SSE şi, respectiv, SST va fi

$$H(S_i) = \sum_{j=1}^{r} H_{FM_{ij}} + \sum_{j=1}^{s} H_{MM_{ij}} + \sum_{j=1}^{t} H_{OM_{ij}}, \quad (5)$$

unde H_{FM}, H_{MM} şi H_{OM} reprezintă componentele entropice aferente forţei de muncă, mijloacelor de muncă şi, respectiv, obiectului muncii.

În cazul celor două variante analizate au rezultat valorile stărilor entropice indicate în tabelul de mai jos, cărora le-au fost asociate utilităţi, aproximate ca proporţionale cu valorile respective.

Variante (strategii)	Stări entropice		„Utilităţi"	
	SST	SSE	O_1	O_2
			SST	SSE
C_1	1,284	1,342	0,505	0,213
C_2	1,184	1,386	1	0

În vederea luării deciziei, se utilizează criteriul lui von Neumann [1]

$$\max_{C_i} \min_{O_j} [U(O_j, C_i)], \quad (6)$$

unde $U(O_j, C_i)$ reprezintă utilitatea rezultatului O_j cînd a fost folosită strategia C_i.

Alegînd C_1, cîştigul minim obţinut este 0,213.

Alegînd C_2, cîştigul minim obţinut este 0.

Se alege deci C_1 deoarece în acest fel cîştigul minim va fi cel mai mare.

Concluzii

Metoda stărilor entropice poate fi utilizată ca element de fundamentare a problemelor decizionale în organizarea şi conducerea sistemelor energotehnologice.

Din exemplul prezentat a rezultat că sistemul energotehnologic cu structura internă optimă este cel din varianta 1, care, deşi dispune de un subsistem tehnologic mai puţin organizat decît cel din varianta 2, beneficiază de un subsistem energetic superior acestuia din urmă.

Bibliografie

[1] Ackoff, R. L. şi Sasieni, M. W. *Bazele cercetării operaţionale.* Editura tehnică, Bucureşti, 1975.

[2] Boldur, Gh. *Fundamentarea complexă a procesului decizional economic.* Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1973.

[3] Bîrlea, St. *Iniţiere în cibernetica sistemelor industriale.* Editura tehnică, Bucureşti, 1975.

[4] Crişan, O. *Optimizări decizionale în sistemele electroenergetice.* Editura Facla, 1975.

[5] von Neumann, J. şi Morgenstern, O. *Theory of games and economic behavior.* Princeton University Press, 1947.

[6] Ţuţuianu, O. *Aspecte actuale privind analiza eficienţei sistemelor energotehnologice.* În : Energetica 25, nr. 8, 1977, p. 279—283.

Aspecte privind utilizarea raţională a resurselor energetice la şantierele de montaj al centralelor electrice

Dr. ing. **A. Măcriş**
şi ing. **D. Filitti***)

În strategia economiei naţionale, o direcţie de primă importanţă o constituie lărgirea bazei energetice, concomitent cu utilizarea raţională a resurselor energetice, cu creşterea randamentelor în utilizarea lor. Aceasta înseamnă că un obiectiv urmărit permanent trebuie să fie realizarea, în toate sectoarele economice consumatoare de energie, a unor procese tehnologice mai eficiente, în scopul reducerii consumurilor tehnologice şi al utilizării cît mai judicioase a oricăror forme de energie.

Legislaţia în vigoare în România, privind dezvoltarea bazei energetice şi folosirea mai judicioasă a combustibililor şi energiei, orientează eforturile montorilor de centrale electrice spre gospodărirea cu maximum de eficienţă a resurselor energetice, spre eliminarea risipei şi a pierderilor energetice, şantierele de montaj reprezentînd consumatori relativ însemnaţi de energie electrică şi termică. În cele ce urmează se va analiza în mod detaliat această problemă, sub aspectul utilizării raţionale a resurselor energetice, în special al măsurilor care trebuie luate.

1. Principiile organizării şantierelor de montaj al centralelor electrice

De-a lungul unui flux tehnologic, materialele şi utilajele din depozite sînt transportate spre platformele de preasamblare, unde suferă pre-

*) Dr. ing. Anatol Măcriş este director tehnic al Trustului Energomontaj ; ing. Dan Filitti este şeful Atelierului de proiectare din cadrul aceluiaşi trust.

lucrări parțiale, și apoi sînt transportate spre locurile de montaj. Organizarea șantierului trebuie să asigure desfășurarea optimă a fluxurilor tehnologice de montaj spre principalele puncte de lucru : clădirea principală (sala turbinelor, a cazanelor), nodul hidrotehnic, gospodăria de combustibil, epurarea chimică etc. În acest scop, organizarea de șantier cuprinde :

A. Obiecte tehnologice : căi de transport (drumuri, căi ferate, căi de rulare pentru macarale), platforme de preasamblare și de confecții echipate cu mijloace de ridicare, ateliere.

B. Obiecte pentru depozitare : magazii, depozite, platforme.

C. Obiecte social-administrative legate de procesul tehnologic : birouri, vestiare etc.

D. Rețele electrice de forță și pentru iluminat, rețele termice, rețele de combustibil (gaz metan, oxigen, acetilenă), rețele de aer comprimat, rețele sanitare (apă, canalizare).

Această clasificare evidențiază obiectele tehnologice de la punctul A și în special rețelele energetice, amplasate de-a lungul fluxului tehnologic, în scopul analizării lor și al evidențierii posibilităților de folosire mai judicioasă a energiei electrice și termice.

2. Descrierea rețelelor energetice

2.1. *Rețelele electrice*

Alimentarea cu energie electrică a șantierelor este realizată, de regulă, la tensiunea de 6—20 kV. Posturile de transformare de 6—20/0,4 kV din șantier alimentează în continuare tablouri de distribuție generale și tablouri de distribuție de 0,4 kV, amplasate la locul de consum. Din tablourile de distribuție, prin circuite separate sînt alimentați consumatorii de forță (aparate de sudură, pompe, ateliere, stații de tratament termic, macarale etc.) și iluminatul în șantier. În funcție de posibilitățile de alimentare, pe partea de medie tensiune se utilizează mai multe tipuri de scheme care se pot clasifica după modul de alimentare pe partea de tensiune medie (6—20 kV) : rețea în buclă sau rețea mixtă (rețea în buclă pentru consumatorii concentrați, combinată cu una sau două alimentări radiale pentru consumatorii izolați și îndepărtați). Pe partea de 0,4 kV, schema de alimentare este în general radială, completată uneori cu bucle parțiale, între tablourile generale de distribuție. Șantierele mari, aferente centralelor electrice echipate cu grupuri de 330 MW, au o putere instalată în posturile de transformare cuprinsă între 5 și 7,5 MVA și se încadrează în clasa „C" de consumatori industriali, cu nivelul 2 de rezervare în căile de alimentare. În realizarea sistemului intern de alimentare cu energie electrică au fost luate în considerare următoarele elemente :

a) alimentarea se face prin intermediul unei rețele buclate de 20 kV, ale cărei capete se racordează la secții de bare diferite, în stația de conexiuni de 20 kV. În situația normală, pentru

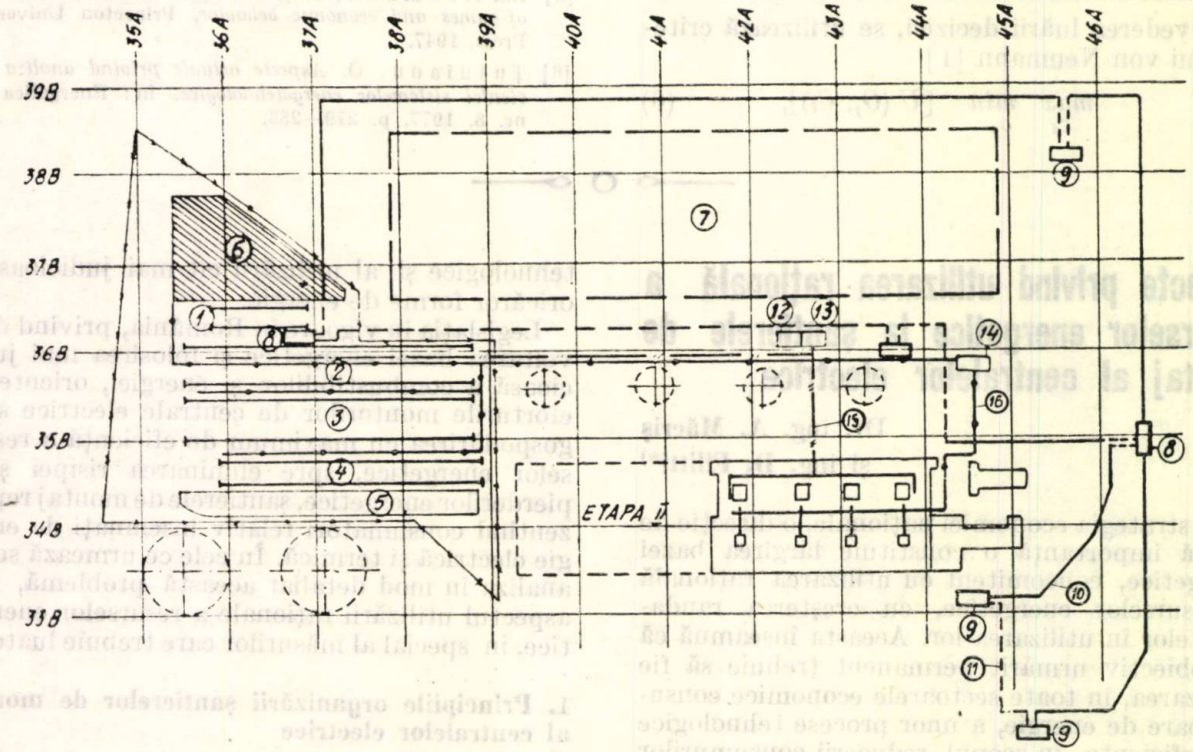


Fig. 1. Centrală termoelectrică 8 × 330 MW. Organizare șantier de rețele energetice.

1 — platformă depozitare; *2* — platformă preasamblare; *3* — platformă preasamblare; *4* — platformă echipament; *5* — platformă echipament; *6* — gospodărie înzidiri-izolații; *7* — gospodărie cărbune; *8* — punct de alimentare; *9* — post de transformare; *10* — linie electrică aeriană 20 kV; *11* — linie electrică subterană 20 kV; *12* — stație distribuție oxigen; *13* — stație distribuție acetilenă; *14* — centrală termică de pornire; *15* — rețele oxigen, acetilenă, gaze, aer comprimat; *16* — rețele termice.

limitarea curenților de scurtcircuit, se funcționează cu buclă deschisă;

b) realizarea rețelei buclate în cea mai mare parte aerian, în scopul reducerii costurilor de investiții, eliminării cablurilor de import de 20 kV și al îmbunătățirii condițiilor de exploatare;

c) amplasarea posturilor de transformare cît mai aproape de centrele de greutate ale punctelor de consum, asemănător unor racorduri adînci, în scopul diminuării pierderilor de putere și a căderilor de tensiune;

d) adoptarea posturilor de transformare realizate din unități prefabricate în cabine metalice, de aceeași putere, în scopul reducerii timpului de montaj și pentru modificări operative în configurația schemei de alimentare;

e) alegerea unor puteri unitare optime ale posturilor în scopul funcționării lor în condiții economice pe întreaga durată a șantierului;

f) montarea unor baterii statice de condensatoare pe barele posturilor de transformare, în scopul îmbunătățirii factorului de putere.

2.2. *Rețelele termice*

Consumul de energie termică la șantierele de montaj este important, fiind destinat pentru:

a) scopuri tehnologice, ca de exemplu: cauciucarea conductelor și utilajelor;

b) încălzirea tehnologică, în perioada rece a anului, a spațiilor de montaj, în scopul realizării unor temperaturi minime (de regulă +5°C), care să permită desfășurarea lucrărilor de montaj (montarea și centrarea turbinei, sudarea conductelor de înaltă presiune, probe hidraulice, montarea utilajelor cauciucate etc.);

c) încălzirea obiectelor de organizare de șantier.

Drept surse de energie termică se utilizează:

— centralele termice de pornire care furnizează apă supraîncălzită sau abur, echipate cu cazane funcționînd de regulă cu combustibil lichid;

— barele colectoare ale termocentralei, care furnizează apă supraîncălzită sau abur;

— centralele termice de organizare de șantier producătoare de apă caldă sau abur de joasă presiune, echipate cu cazane funcționînd de regulă cu combustibil lichid. Această soluție este numai în mod excepțional utilizată la șantierele aferente termocentralelor, datorită costurilor suplimentare de organizare de șantier și unei utilizări neeconomicoase a resurselor energetice.

În mod obișnuit, încălzirea obiectelor de organizare de șantier se realizează cu apă caldă sau apă supraîncălzită, iar încălzirea tehnologică a spațiilor de montaj se realizează cu aer cald, utilizînd de regulă apa supraîncălzită drept agent primar. În prezent, în acest scop se utilizează aerotermele. Utilizarea însă a aburului pentru încălzirea spațiilor de montaj conduce atît la economii de circa 40% la fondurile de organizare de șantier la investiția respectivă, față de costurile unei instalații asigurînd un debit termic similar, obținut pe bază de apă supraîncălzită, cît și la o însemnată economie de metal. Înscriindu-se pe linia economisirii de surse de energie, metal și manoperă, la realizarea rețelelor termice s-a ținut seama de următoarele elemente: a) alegerea celui mai economic agent termic; b) utilizarea unor aparate de încălzire cu randament ridicat și consum redus de metal; c) realizarea celei mai eficiente scheme de distribuție; d) tipizarea elementelor tubulare: distribuitoare, colectoare, tronsoane modulate de țevi etc.; e) utilizarea maximă a instalației de încălzire în soluție definitivă de gardă; f) realizarea unor închideri provizorii eficiente, locale și generale; g) utilizarea în exclusivitate a apei supraîncălzite ca agent termic, în special la rețelele noi.

2.3. *Rețelele de combustibil*

În activitatea de montaj se utilizează ca gaze combustibile: gazele naturale și acetilena. Distribuția centralizată a acetilenei se realizează, fiind justificată economic, la șantierele cu cel puțin 3—4 grupuri energetice de 50 MW sau 2 grupuri de 330 MW. Pe șantiere, acetilena este utilizată pentru executarea sudurilor și foarte rar, și numai în lipsa gazelor naturale, pentru tăierea metalelor. Gazele naturale sînt utilizate în scopuri tehnologice de înaltă tehnicitate: tratamentul termic al sudurilor de înaltă presiune, fasonarea conductelor, tăierea metalelor (ca înlocuitor al carbidului, la a cărui fabricare se consumă o însemnată cantitate de energie electrică). Din acest motiv, adică utilizarea rațională a energiei primare în cadrul economiei naționale, la care se adaugă costuri și pericole de explozie mai reduse etc., la operațiile de tăiere a metalelor se utilizează gazele naturale. În continuare, domeniul de utilizare tehnologică a gazelor naturale a fost extins la tratamentele termice cu flacără și la fasonarea conductelor de diametre mici, înlocuind și în acest fel acetilena.

3. Măsuri pentru utilizarea rațională a resurselor energetice la șantierele de montaj al centralelor electrice

În continuare vor fi analizate o serie de măsuri noi care vor conduce la o utilizare mai rațională a energiei electrice, termice și a combustibilului la șantierele de montaj. O primă categorie de măsuri sînt specifice organizării de șantier și se referă în special la concepția, dimensionarea, execuția și exploatarea alimentării șantierelor cu energie electrică, termică și combustibili, categorie de măsuri care pot fi influențate direct de către organizațiile de

montaj. O a doua categorie de măsuri se referă la scăderea consumurilor tehnologice de energie electrică, termică și de combustibili la șantiere.

3.1. *Măsuri specifice șantierelor de montaj*

3.1.1. *Utilizarea energiei electrice.* Printre principalele măsuri care trebuie luate, trebuie evidențiate următoarele :

a) Revizuirea bazelor de calcul al puterii instalate în posturile de transformare, în sensul reducerii acesteia. În urma măsurătorilor efectuate s-a constatat un coeficient efectiv de încărcare de circa 45—58%, datorită dimensionării la încărcarea maximă, la vîrful lucrărilor de montaj. Datorită recuperării întîrzierilor în livrarea echipamentelor, livrărilor dezasortate și într-o ordine care contravine fluxului tehnologic, se produce pentru o scurtă perioadă un consum mărit de energie electrică, ceea ce impune supradimensionarea rețelelor și a posturilor. Pentru reducerea puterii instalate în posturile de transformare și deci a pierderilor datorită funcționării în gol, se analizează stabilirea unor valori de calcul pentru coeficientul de cerere specifice șantierelor de montaj al centralelor electrice.

b) Utilizarea în posturi de transformare a unor transformatoare cu puteri unitare mici, de exemplu 400 kVA, care să poată fi montate numai pe măsura necesităților, pînă la atingerea puterii maxime, și apoi să fie mutate de la un post la altul, pentru satisfacerea deplasării vîrfului de consum în diverse zone ale șantierului, în funcție de stadiul construcțiilor, montajului și al probelor. Ca variantă, într-un post de transformare se poate monta un transformator pentru acoperirea consumului de bază și transformatoare de putere mai mică pentru acoperirea vîrfului de consum.

c) Prevederea încă din faza PE a unor celule de 6 și 0,4 kV în serviciile interne ale centralei electrice, echipate cu tot aparatajul primar și secundar, special destinate alimentării organizării de șantier.

d) Proiectarea rețelelor de iluminat general și local, astfel încît să nu se depășească nivelul admis de iluminare, să se asigure zonarea iluminatului, să se utilizeze iluminatul fluorescent cît mai mult posibil, funcție de normele în vigoare.

3.1.2. *Utilizarea energiei termice.* Măsurile recomandate pentru economisirea energiei termice sînt :

a) Executarea în avans a centralelor termice de pornire, definitive, pentru a fi utilizate ca furnizor de agent termic pentru organizarea de șantier. Astfel se reduc investițiile cu contravaloarea centralei termice de organizare de șantier, corelat cu producerea unui agent termic în condiții de randament sporit.

b) Prevederea încă din faza PE în bilanțul termic al centralei a consumurilor de căldură pentru activitatea de montaj, corelat cu asigurarea punctelor de racord, echipate cu aparatajul necesar.

c) Reanalizarea soluțiilor tehnice privind izolația termică și protecția acesteia.

d) Realizarea de către industria indigenă a unor echipamente de încălzire (aeroterme) cu randament ridicat și consum redus de metal, funcționînd cu agentul termic prescris — apă supraîncălzită.

e) La proiectarea instalațiilor pentru încălzirea spațiilor de montaj, la dimensionarea și amplasarea unor elemente (secțiunea conductelor, distribuitoare, colectoare) să se țină seama de profilul final (întregul spațiu care urmează să fie încălzit).

f) Studierea oportunității utilizării și a altor mijloace de încălzire a spațiilor de organizare de șantier și a spațiilor de montaj. De exemplu : încălzirea cu radiatoare electrice cu acumulare a obiectelor de organizare de șantier cu durate mici sau amplasate la distanță mare față de sursa de agent termic.

g) Utilizarea la încălzirea unor spații de montaj și obiecte de organizare de șantier a energiei termice recuperate de la procesul tehnologic de confecții metalice.

3.1.3. *Utilizarea combustibililor.* Se recomandă realizarea următoarelor măsuri :

a) Folosirea gazelor naturale în locul acetilenei, în conformitate cu instrucțiunile tehnice.

b) Realizarea de către industria noastră a unor armături de închidere pentru gaze naturale, care să întrerupă în mod automat furnizarea gazelor în momentul decuplării consumatorului.

3.2. *Măsuri generale pentru utilizarea rațională a resurselor energetice*

Această categorie de măsuri se referă la scăderea consumurilor tehnologice, ca urmare a îmbunătățirii concepției privind gradul de industrializare și de finisare a produselor în întreprinderile din ramura construcției de mașini.

Se recomandă luarea următoarelor măsuri :

a) Extinderea asamblării prin buloane a utilajelor energetice, evitîndu-se pe șantier operații tehnologice consumatoare de energie : sudură, tăiere, tratamente termice etc.

b) Revizia în uzină a utilajelor, corelat cu livrarea lor sigilată, cu măsuri de protecție corespunzătoare.

c) Realizarea asamblării de control a turboagregatelor și a altor utilaje în întreprinderile constructoare, în scopul eliminării volumului mare de ajustaje care se execută în prezent pe șantier.

d) Livrarea condensatoarelor de la turbo-agregate gata asamblate, eliminîndu-se pe şantier un important volum de sudură electrică.

e) Extinderea executării centralizate a confecţiilor metalice, a prelucrărilor mecanice, a cauciucării conductelor, a reviziei armăturilor şi în general a tuturor operaţiilor care se pot executa economic în ateliere specializate.

f) Analiza înlocuirii tratamentelor termice cu inducţie prin tratamente termice cu rezistenţă, în scopul realizării unui factor de putere superior.

Concluzii

Cunoscînd importanţa deosebită pe care o prezintă folosirea raţională a resurselor energetice prin eliminarea risipei de energie electrică, termică şi a combustibililor, în toate ramurile economiei naţionale, a fost analizată această problemă în cadrul activităţii şantierelor de montaj, aferente centralelor electrice.

Din această analiză au rezultat o serie de măsuri pe care organizaţiile de montaj le detaliază şi le aplică, în colaborare cu toate unităţile economice interesate.

Secţia 5

Raport general

Perfecţionarea sistemelor energetice industriale şi a automatizării acestora. Efecte energetice şi economice

Raportor general: dr. ing. Gheorghe Bălan *)

În cadrul secţiei a 5-a a celei de-a IX Conferinţe Internaţionale de Energetică Industrială ne propunem să analizăm progresele şi tendinţele din ultimii ani în ceea ce priveşte perfecţionarea sistemelor energetice industriale şi a automatizărilor complexe a acestora. Aceste perfecţionări se referă atît la instalaţiile energetice care asigură alimentarea sigură, continuă şi la parametri ceruţi, cu energie electrică şi termică, a consumatorilor industriali, cît şi la instalaţiile industriale în calitatea lor de receptoare de energie.

Efectele calitative ale perfecţionărilor aduse prin automatizări, acţionări electrice, utilizarea tehnicii numerice etc. sînt în strînsă legătură cu efectele avînd caracter economic, deoarece, în afara continuităţii funcţionării consumatorilor, este necesar să se asigure optimizarea din punct de vedere economic a procesului tehnologic; de asemenea se urmăreşte optimizarea energetică la nivelul fiecărui consumator, la nivelul fiecărui produs finit, astfel încît el să înglobeze cantitatea minimă de energie pe care o reclamă din punct de vedere tehnologic.

Numărul mare de referate cu care specialiştii din diferite ţări s-au înscris la această secţie dovedeşte că există un interes deosebit pentru problemele legate de perfecţionarea constructivă şi funcţională a instalaţiilor furnizoare şi receptoare de energie electrică şi termică, precum şi pentru introducerea automatizărilor complexe.

Nivelul calitativ deosebit al referatelor, precum şi soluţiile originale propuse reprezintă un real interes pentru a proceda la un schimb de păreri şi în vederea generalizării.

Ca tematică prioritară pentru secţia a 5-a ne propunem să analizăm perfecţionările din domeniul instalaţiilor de producere a energiei, în special cazanelor funcţionînd pe combustibil inferior, perfecţionările şi modernizările pe partea de automatizări, protecţii, măsură, acţionări, avînd ca scop creşterea siguranţei în exploatare şi a eficienţei procesului tehnologic al consumatorilor industriali. De asemenea este necesar să analizăm alte perfecţionări care duc în mod direct sau indirect la reducerea consumului de combustibil. Trebuie să insistăm în mod special asupra instalaţiilor care funcţionează cu cărbune inferior, avînd în vedere economiile severe impuse pe plan mondial privind celelalte categorii de combustibil.

Stadiul actual şi perspectivele privind perfecţionarea instalaţiilor de producere a energiei electrice, a automatizării şi acţionărilor la nivelul producerii şi consumului de energie

Într-o serie de ţări producătoare de echipament energetic au fost introduse o serie de îmbunătăţiri avînd un dublu scop: mărirea numărului de ore de funcţionare pe an cu evitarea la maximum a ieşirilor din funcţiune şi realizarea de soluţii avantajoase din punct de vedere economic, atît în ceea ce priveşte asigurarea unor parametri tehnologici optimi, cît şi din punct de vedere constructiv.

Un interes deosebit îl prezintă perfecţionările aduse cazanelor de abur şi echipamentelor auxiliare ale acestora; ne referim atît la cazanele unor grupuri de medie şi mare putere destinate centralelor electrice care folosesc combustibil inferior, cît şi la cazanele cu debite mici şi medii care fac parte din instalaţiile consumatorilor de energie, în special ale platformelor industriale care necesită un consum ridicat de energie termică.

Răspîndirea mare a cazanelor de apă fierbinte în scopuri de termoficare a impus găsirea unor soluţii constructive îmbunătăţite în vederea maximizării randamentului acestora şi asigurării mijloacelor de automatizare şi protecţie a lor, pentru obţinerea unei elasticităţi mari în ceea ce priveşte regimurile de funcţionare.

Se remarcă îmbunătăţiri în special în ceea ce priveşte: utilizarea unor materiale cu calităţi superioare pentru ţevile cazanelor în vederea reducerii la minimum a numărului de spargeri de ţevi, dotarea cazanelor cu tipuri noi de pompe, ventilatoare şi alte echipamente auxiliare, cu siguranţă de funcţionare mărită şi cu un consum propriu de energie cît mai redus,

*) Dr. ing. Gh. Bălan este director adj. ştiinţific — Institutul de cercetări şi modernizări energetice

îmbunătăţiri pe partea de gospodărie a combustibilului (mori de cărbune, benzi transportoare etc.), astfel încît să nu apară strangulări din această cauză în asigurarea funcţionării echipamentului energetic la parametrii proiectaţi.

Trebuie amintite o serie de îmbunătăţiri pe partea electrică în centralele termoelectrice şi de termoficare, precum şi în instalaţiile proprii ale diferitelor categorii de consumatori industriali, vizînd utilizarea de echipamente sigure şi a unor scheme de alimentare de mare elasticitate care, cu ajutorul instalaţiilor de automatizare, să poată evita avariile ce duc la întreruperea alimentării cu energie electrică sau să reducă la minimum aceste întreruperi (de ordinul zecimilor de secundă), astfel încît procesul tehnologic să nu aibă de suferit.

De aceeaşi importanţă cu perfecţionările şi îmbunătăţirile aduse la nivelul instalaţiilor producătoare de energie electrică şi termică sînt perfecţionările aduse la nivelul fiecărui consumator. Se constată că există preocupări continue în perfecţionarea procesului tehnologic din punct de vedere energetic, adică în vederea reducerii la minimum a consumului specific de energie electrică şi căldură pe unitatea de produs. Aceste perfecţionări duc la reduceri importante de consum de energie şi asigură continuitatea desfăşurării procesului tehnologic la parametri preconizaţi. Se poate constata, la o serie de industrii importante ca pondere de consum de energie, o reducere sistematică de la an la an a consumurilor specifice. Menţionăm în mod special realizările din domeniul industriei siderurgice, industriei miniere, al transporturilor electrificate, în industria constructoare de maşini şi în industria petrochimică.

În termoficarea industrială, inclusiv a serelor, care ocupă o suprafaţă din ce în ce mai mare, perfecţionările se referă la asigurarea graficului de temperaturi, la micşorarea pierderilor hidraulice în timpul transportului agentului termic, eliminarea pierderilor de căldură datorită neetanşeităţilor, supravegherea şi dirijarea reţelei de termoficare din camere de comandă destinate în mod special acestui scop.

Rolul cel mai mare în obţinerea unei siguranţe maxime de alimentare cu energie a consumatorilor şi de desfăşurare a procesului tehnologic cu un consum specific minim revine automatizărilor complexe şi acţionărilor electrice de mare eficienţă.

Automatica de sistem şi funcţionarea ei corectă au o influenţă directă asupra calităţii procesului tehnologic prin aceea că trebuie să asigure menţinerea frecvenţei şi a tensiunii de alimentare în limitele admise. Reglajul frecvenţă-putere, în condiţiile existenţei unor interconectări între sisteme energetice puternice, trebuie să asigure menţinerea frecvenţei de alimentare a consumatorilor în limite foarte restrînse, dirijîndu-se în mod automat descărcarea şi încărcarea grupurilor, pornirea şi oprirea grupelor astfel încît receptoarele electrice ale platformelor industriale şi ale altor consumatori industriali să nu-şi schimbe caracteristicile tehnologice de funcţionare. În mod obişnuit, sarcina asigurării reglajului secundar şi terţiar, precum şi a puterii de schimb pe liniile de interconexiuni între sistemele energetice, revine unor instalaţii de automatizare complexă în care elementul central îl reprezintă calculatorul de proces, care dă comenzile de încărcare pînă la nivel de grup. Siguranţa funcţionării automaticii de sistem este de maximă importanţă, deoarece variaţiile mari de frecvenţă pot duce la pagube materiale mari în cadrul întreprinderilor industriale.

Tehnica actuală în privinţa reglajului tensiunii la nivelul grupurilor energetice şi la nivelul reţelelor de transport şi distribuţie este în măsură să rezolve menţinerea nivelelor de tensiune în limitele admise de receptoarele cele mai sensibile. Prin alegerea adecvată a schemelor de alimentare din interiorul combinatelor industriale şi întreţinerea cu atenţie a staţiilor de transformare şi posturilor de transformare respective se rezolvă problema reglajului tensiunii. În legătură cu această problemă se menţionează şi importanţa reglajului automat al puterii reactive atît la nivel de sistem energetic, prin utilizarea judicioasă a compensatoarelor sincrone, cît şi la nivel local, prin conectarea sau deconectarea automată a unor părţi din bateriile de condensatoare statice. Menţinerea în bună stare de funcţionare a automatizării acestor baterii, ca şi a altor categorii de echipamente de automatizare, care asigură corelaţia corectă dintre puterea activă — puterea reactivă — tensiune şi frecvenţă, se reflectă asupra unui regim economic corect de exploatare a întregului sistem energetic, precum şi a satisfacerii cerinţelor consumatorilor industriali. Tot aici trebuie să menţionăm că s-au obţinut progrese însemnate în alegerea schemelor de anclanşare automată a rezervei şi de reanclanşare automată rapidă, astfel încît, prin acordarea selectivă a acestora şi corelarea cu celelalte automatizări şi protecţii de sistem, să se evite nu numai întreruperea alimentării consumatorilor industriali, ci şi perturbaţiile de alimentare, cum ar fi golurile de tensiune de scurtă durată.

În vederea asigurării continuităţii în alimentarea consumatorilor importanţi grupaţi în platforme industriale, este de mare importanţă realizarea unor scheme de conexiuni şi a unei automatici de sistem care în cazul unor perturbaţii importante în sistemul energetic să poată asigura alimentarea continuă a acestor platforme prin zonarea sistemului sau cel puţin insulară

zarea unor grupuri, astfel încît, pentru fiecare zonă sau insulă, să se menţină un echilibru între puterea produsă şi cea consumată, pentru ca nici unul din consumatorii vitali să nu rămînă nealimentaţi. Rolul principal al automaticii de sistem în legătură cu alimentarea sigură şi continuă a consumatorilor de energie electrică este acela de a sesiza la timp fenomenele perturbatoare (pierderea stabilităţii statice sau dinamice, pendulaţii etc.) şi de a comanda trecerea la funcţionarea zonală sau insularizată. De asemenea, după trecerea pericolelor provocate de fenomenele nedorite în sistem, automatica de sistem trebuie să comande revenirea la schemele de alimentare normale.

Automatizările la nivel de grupuri energetice, fie că sînt grupuri din centralele sistemului sau din centralele proprii ale platformelor industriale, joacă un rol important în asigurarea parametrilor calitativi ai energiei electrice şi la alimentarea continuă a tuturor categoriilor de consumatori industriali. Din această cauză, toate îmbunătăţirile care se aduc la schemele de reglare automată, protecţii tehnologice şi electrice, măsură, semnalizare şi comandă de la distanţă, prezintă un interes deosebit atunci cînd se dezbat problemele de energetică industrială.

Realizările în acest sens sînt numeroase, o parte dintre ele făcînd obiectul unor referate din cadrul secţiei noastre. De menţionat că, pe măsura creşterii complexităţii procesului tehnologic şi a instalaţiilor de producere a energiei electrice şi termice, în vederea acoperirii necesităţilor privind automatizarea, se utilizează din ce în ce mai mult calculatoarele de proces din generaţia 31/2, care au o mare fiabilitate, nu necesită condiţii speciale de climatizare şi pot prelua o bună parte din atribuţiile instalaţiilor clasice de automatizare.

Calculatoarele de proces instalate în centralele electrice, la dispecerii energetici ai sistemului şi ai platformelor industriale reprezintă în prezent un important mijloc de centralizare a datelor necesare supravegherii şi conducerii procesului de alimentare cu energie; de asemenea, la dispecerii energetici ai platformelor calculatoarele au ca scop conducerea proceselor şi supravegherea principalilor consumatori de energie, astfel încît, în afara unei funcţionări sigure şi continue, să se asigure menţinerea automată a parametrilor în limitele stabilite şi să se optimizeze balanţa energetică în sensul minimizării consumurilor specifice.

Punerea la punct a instalaţiilor de automatizare la consumatorii industriali şi modernizarea continuă a acestora, prin introducerea realizărilor celor mai recente, reprezintă o verigă importantă în lanţul de optimizare complexă, incluzînd producătorul şi consumatorul de energie. Desfăşurarea procesului tehnologic, echiparea acestuia cu acţionările şi automatizările adecvate trebuie să contribuie la aplatisarea curbei zilnice de sarcină a sistemului energetic, contribuind astfel la scăderea costului energiei livrate şi la optimizarea balanţelor energetice.

Se constată rezultate spectaculoase în alegerea schemelor de acţionare şi a schemelor de alimentare a receptoarelor de foarte mare putere din cadrul unor combinate industriale (în special motoare sincrone mari şi cuptoare electrice cu arc), în vederea încadrării în condiţiile pe care le poate asigura sistemul energetic, în ceea ce priveşte variaţiile inerente ale tensiunii şi frecvenţei. Au fost puse la punct, de către dispecerii energetici de platformă, scheme de alimentare prevăzute cu toate automatizările necesare, astfel încît să se realizeze o mare elasticitate în posibilităţile de alegere a schemelor optime, ţinîndu-se pasul cu eventualele modificări ale procesului tehnologic.

Analiza problemelor tratate în cadrul rapoartelor

Avînd în vedere că de modul cum se rezolvă procesele de reglare la nivelul sistemului energetic depinde, în ultimă instanţă, siguranţa în alimentare a consumatorilor industriali şi desfăşurarea normală a procesului tehnologic, se află în atenţia cercetării, proiectării şi exploatării găsirea de soluţii care să permită introducerea celor mai recente realizări în domeniul echipamentelor de automatizare, la nivelele de conducere şi supraveghere. În privinţa comenzii repartiţiei consumatorilor de putere reactivă în sistemul energetic, a fost elaborată o metodică nouă (raportul 5.8), bazată pe optimizarea prin metode de gradient. Metoda de calcul este simplă, utilizînd impedanţe echivalente la nivelul reţelei de alimentare a consumatorilor, erorile de calcul nedepăşind 3%, adică erori mult mai mici decît cele date pînă în prezent de literatura de specialitate.

Tot în privinţa schemei de alimentare şi a dotării cu echipamente de automatizare şi protecţie a staţiilor care alimentează consumatori mari, o problemă deosebită o reprezintă cazul acelor consumatori care sînt dotaţi cu motoare sincrone avînd puteri mai mari de 10 MW. Ţinîndu-se seamă de particularităţile funcţionării acestor motoare şi de regimurile tranzitorii, s-au adus serioase îmbunătăţiri (raportul 5.24) privind automatica reţelelor de medie tensiune, dotarea cu instalaţii AAR şi RAR etc.

Se preconizează utilizarea pe scară largă a instalațiilor de descărcare automată a sarcinii la scăderea frecvenței. Raportul 5.24 analizează aportul la scurtcircuit al motoarelor sincrone, autopornirea acestora, stabilindu-se modul corect de rezolvare a reglajului automat al excitației.

O serie de referate (5.3, 5.17, 5.6 și 5.7) tratează probleme legate de îmbunătățirea procesului de reglare automată în instalațiile de producere a energiei electrice și termice, cu scopul asigurării alimentării continue și la parametrii ceruți a consumatorilor industriali.

Pentru cazanele care funcționează pe șisturi bituminoase este foarte important ca pentru optimizarea procesului, în sensul minimizării consumului specific de combustibil, să se realizeze o automatizare complexă cu un număr mare de bucle de reglare, care să țină seamă de adaptările necesare în funcționare atunci cînd puterea calorică a combustibilului variază în limite largi. Se calculează acordurile optime ale buclelor de reglare pe circuitul apă-abur și în circuitul aer-gaze al cazanului de 540 t/h, ținîndu-se seama de interacțiunile între buclele de reglare. Întreaga problemă este rezolvată prin modelarea pe calculator numeric a regimurilor dinamice mai importante.

Una dintre cele mai complicate scheme de reglare automată la cazanele de abur și cazanele de apă fierbinte este cea a apei de alimentare. În cazul cazanelor mari funcționînd pe combustibil inferior, în raportul 5.17 se stabilește configurația optimă a schemei de reglare a apei de alimentare la sarcină redusă și la sarcină nominală, stabilindu-se acordurile necesare ale regulatoarelor. Ca referință pentru întreaga schemă se ia referința regulatorului de putere electrică al turbinei, care este trecută printr-un element proporțional-derivativ și un element de întîrziere. Pentru funcționarea optimă se introduc o serie de corecții : de temperatură pe traseul apă-abur, de presiune abur viu și de temperatură după zona de vaporizare ; suma algebrică a acestor semnale reprezintă referința pentru debitul de apă. În regim de pornire se mai prevede o buclă de reglare de debit minim și de presiune la refularea pompelor.

În domeniul utilizării calculatoarelor de proces la centralele electrice care deservesc mari platforme industriale, o preocupare deosebită o reprezintă supravegherea concomitentă atît a procesului de producere a energiei cît și a procesului de consum. În vederea depistării rapide a cauzelor care duc la apariția unor incidente de exploatare și luării operative a măsurilor necesare, se preconizează preluarea de către calculatorul de proces a analizei acestor incidente (raportul 5.6), cu afișarea mărimilor care caracterizează momentele dinaintea apariției perturbațiilor. Datorită numărului mare de mărimi ce trebuie supravegheate la blocurile de 200 și 330 MW, a fost realizat un sistem de supraveghere pe baza calculatoarelor de proces din seria FELIX C-32 P. Analiza incidentelor de exploatare cuprinde prelucrările primare ale mărimilor analogice, limitele care se impun fiecărei mărimi și parametrii asociați acesteia.

O serie de referate (5.4, 5.5, 5.13, 5.15 și 5.16) au ca principal subiect mărirea siguranței alimentării platformelor industriale și a altor consumatori industriali importanți cu ajutorul mijloacelor de automatizare și alegerea judicioasă a schemelor de protecție prin relee și protecție tehnologică.

Se prezintă o metodă nouă de calcul pentru stabilirea parametrilor nodali de siguranță ai stațiilor de transformare de 400 kV și 220 kV care alimentează consumatori industriali. Funcționarea sistemului energetic este considerată, din punctul de vedere al siguranței, ca un proces stocastic, stabilindu-se scheme de calcul care permit alegerea variantei optime de schemă de alimentare a marilor platforme industriale. Conducerea operativă a instalațiilor energetice ale platformelor industriale trebuie încadrată în conducerea operativă a întregului sistem energetic (raportul 5.5), stabilindu-se o ierarhizare precisă a comenzilor și un circuit optim al informațiilor de la platformele industriale și pînă la dispecerul energetic național. Se fac aprecieri asupra volumului de informații și a dotării tehnice necesare cu mijloace de automatizare convențională și de prelucrare automată a datelor. Se consideră necesar ca dispecerii de platformă industrială să fie dotați cu calculatoare de proces avînd performanțe superioare.

O serie de procupări cu rezultate pozitive din punct de vedere economic, în ceea ce privește stațiile și posturile de transformare din incinta întreprinderilor industriale, se prezintă în raportul 5.13. În particular, pentru complexele din industria chimică se face în paralel un calcul economic și un calcul de fiabilitate, de unde rezultă cerințele tehnice impuse stațiilor de alimentare respective. Se scoate în evidență faptul că stațiile cu scheme complexe și mare elasticitate în manevre prezintă avantaje deosebite în privința fiabilității, chiar dacă necesită eforturi suplimentare de investiții.

Problemele de automatizare complexă și asigurarea unei siguranțe maxime în alimentarea consumatorilor se pun deosebit de acut pe partea de alimentare cu energie termică, așa cum se subliniază în rapoartele 5.15 și 5.16.

Se demonstrează că un grad înalt de fiabilitate trebuie asigurat în rețelele de termoficare

industrială, cu menținerea în rezervă a unor echipamente care să intre în funcțiune în mod automat atunci cînd este necesar. Obținerea unei fiabilități ridicate este corelată cu minimizarea cheltuielilor de investiții și de exploatare. Lucrarea 5.15 prezintă o metodă interesantă, care merită să fie generalizată, privind calculul sistemelor de alimentare a platformelor industriale cu energie termică. Metoda utilizează un model de calcul care cuprinde sursa de energie termică, instalațiile de transport, instalațiile de reglare automată și consumatorii.

Aspectele de fiabilitate a rețelelor de termoficare și modalitatea de determinare a intensității întreruperilor în alimentare fac obiectul referatului 5.16. Datele statistice pe care se bazează metodica de calcul sînt luate direct din exploatare. Se scot în evidență o serie de dificultăți care apar în rețelele de termoficare referitor la alimentarea neîntreruptă a abonaților de energie termică, de calitatea și în cantitatea cerută. Sînt trase concluzii interesante privind modul cum din teoria siguranței se pot determina decizii privind alimentarea consumatorilor industriali de energie termică.

O parte din referate tratează probleme privind perfecționarea constructivă și exploatarea cazanelor de abur, o atenție deosebită acordîndu-se cazanelor mici, care se găsesc în număr mare la întreprinderile industriale. Problema tratării corecte a apei de adaos la cazanele de mică capacitate este descrisă în referatul 5.21, analizîndu-se modul în care siguranța în alimentarea cu căldură și cheltuielile de exploatare sînt influențate de o corectă pregătire a apei. Se stabilesc regimurile speciale de exploatare tehnică a cazanelor mici, posibilitățile de modernizare a acestora, dotarea cu noi tipuri de echipamente și instalații de preparare a apei, prevăzute cu echipamente de automatizare care să permită supravegherea strictă a procesului.

Analiza procesului dinamic, legată de dispunerea optimă a arzătoarelor de gaze la cazanele de abur funcționînd cu combustibil de bază cărbune, se face în cadrul raportului 5.10. A fost utilizat un model fizic la scară redusă care a permis realizarea a numeroase variante de dispunere a arzătoarelor. Scopul cercetării a fost acela de a optimiza procesul de ardere și de a reduce consumul specific de combustibil. Se insistă asupra importanței utilizării tehnicii modelării fizice pentru alegerea soluției optime în procesele energetice.

Un număr mare de rapoarte se referă la îmbunătățirile ce trebuie aduse în procesul tehnologic al întreprinderilor industriale, în special prin automatizare complexă și alegerea adecvată a acționărilor electrice, astfel încît să se reducă la minimum consumul specific de energie (5.1, 5.2, 5.9, 5.14, 5.18, 5.19 și 5.22).

Modul în care comanda operativă de prevenire și eliminare a avariilor în sistemele de alimentare cu energie electrică a întreprinderilor industriale contribuie la o bună stabilitate a producției se tratează în lucrarea 5.22. De primă importanță este utilizarea calculatoarelor de proces și a microprocesoarelor, care asigură în mod operativ schimbul informațiilor între producătorul și consumatorul de energie. Modul de lichidare a avariilor cu ajutorul ghidului-operator furnizat de calculatorul de proces este principalul factor de care depinde funcționarea stabilă a receptoarelor electrice din industrie. Aceeași importanță se acordă etapelor de pregătire a procesului de producție, astfel încît să poată fi supravegheat și condus de calculatoarele de proces. Se tratează de asemenea modul de realizare a interferenței dintre calculator și procesul tehnologic, precum și modul de efectuare a analizei în timp real, concomitent a procesului tehnologic și a alimentării cu energie electrică.

Unele îmbunătățiri pe partea de automatizare și optimizare a proceselor din industria siderurgică sînt expuse în rapoartele 5.1 și 5.18. În vederea reglării conținutului de oxigen și a potențialului de oxidare în industria siderurgică, a fost realizată o nouă schemă utilizînd celule cu electrolit solid. Experimentările au dus la concluzia unei îmbunătățiri substanțiale a automatizării procesului de ardere și reglării automate a compoziției atmosferei de protecție. Dintre diferite categorii de celule cu electroliți, cele mai avantajoase s-au dovedit a fi cele cu bioxid de zirconiu. Procedeul elaborat se pretează la generalizare, estimîndu-se importante economii de combustibil (datorită stabilizării procesului de ardere), micșorarea pierderilor și evitarea decarburării.

Pentru îmbunătățirea parametrilor energetici ai cuptoarelor cu arc electric, au fost efectuate studii și experimentări în vederea compensării factorului de putere. Au fost obținute rezultate bune (raportul 5.18), prin utilizarea de baterii de condensatoare statice montate în posturile de transformare ce asigură alimentarea cu energie electrică a cuptoarelor. Se consideră oportună extinderea procedeului compensării factorului de putere la cît mai multe tipuri de cuptoare electrice; de asemenea sînt date indicații privind alegerea parametrilor ce caracterizează bateriile de condensatoare și se analizează modul de soluționare a problemei apariției armonicilor de ordin superior.

Problema reducerii factorului deformant al tensiunii de alimentare se pune în mod acut în industria minieră (raportul 5.14), în special la mașinile de extracție echipate cu tiristoare de mare putere. Convertoarele cu tiristoare, montate în punte și folosite pe scară largă la alimenta-

rea motoarelor de curent continu din minele de cărbune şi minele metalifere, sînt deosebit de sensibile la armonicile din tensiunea de alimentare. Sînt prezentate calcule privind conţinutul de armonici al tensiunii de alimentare, de unde rezultă parametrii de proiectare pentru filtrele cu care trebuie echipate posturile de transformare. Se face o comparaţie între soluţia folosind filtre individuale pentru fiecare convertor sau sisteme de filtre montate pe barele de 6 kV ale posturilor de transformare din industria minieră.

În vederea unei evidenţe clare pe calculator a situaţiei energetice a principalilor consumatori, se preconizează (raportul 5.11) folosirea unui sistem de gestiune complet automatizat. Acest sistem informaţional este ierarhizat pe mai multe nivele, pornind de la nivel de întreprindere şi pînă la ramură industrială. Se fac aprecieri asupra posibilităţilor de utilizare a mijloacelor moderne, colectare, transfer, tratare şi punere la dispoziţie a informaţiilor în vederea luării unor decizii operative şi pe termen lung. Sînt trase concluzii privind rezultatele din experienţa de pînă acum privind tratarea fişierelor masivelor de informaţii şi controlul fiabilităţii întregului sistem informaţional.

Îmbunătăţirea indicatorilor energetici ai lanţului format din reţeaua de alimentare, convertor tiristorizat şi motor electric este expusă în raportul 5.2, în care se face o comparaţie între mai multe variante de acţionare electrică, pe baza criteriului minimizării pierderilor de energie electrică. Se consideră că în stadiul actual al tehnicii acţionărilor, convertoarele cu tiristori reprezintă soluţia cea mai bună. Pentru atenuarea componentelor nesinusoidale ale tensiunii, se utilizează filtre de rezonanţă LC, bateriile de condensatoare ale acestor filtre fiind folosite la compensarea puterii reactive. Soluţiile propuse spre generalizare au un dublu avantaj : de atenuare a componentelor nesinusoidale şi de îmbunătăţire a factorului de putere.

Stabilitatea acţionărilor cu motoare sincrone legată de eventuala funcţionare a instalaţiilor de reanclanşare automată rapidă este tratată în raportul 5.9. Problema prezintă interes pentru industria chimică, în care există numeroase acţionări utilizînd motoare sincrone de medie şi mare putere. Sînt stabilite cerinţele impuse instalaţiilor de automatizare din reţeaua de alimentare a combinatelor chimice, astfel încît să se limiteze parametrii ce caracterizează eventuale goluri de tensiune sau întreruperi de tensiune. Experimentările s-au efectuat asupra unor acţionări de pompe centrifuge, trăgîndu-se concluzii asupra stabilităţii funcţionării motoarelor sincrone şi asupra optimizării acţionării în ansamblu.

Tot problema siguranţei funcţionării acţionărilor cu motoare sincrone este tratată în referatul 5.19, cu particularizare pentru siderurgie, arătîndu-se că puterea instalată a motoarelor sincrone pentru un singur combinat metalurgic poate ajunge la 300 MW. Sînt expuse consideraţiile de eficienţă tehnică şi economică care stau la baza alegerii acţionărilor cu motoare sincrone. Se arată că stabilitatea întregului sistem de acţionare depinde de modul în care se pot compensa şocurile de sarcină, modul de eliminare a surselor de armonici ; se fac propuneri de simplificare a schemelor de pornire, de îmbunătăţire a schemelor de protecţie şi automatizare, la nivelul combinatului siderurgic şi la nivelul furnizorului de energie electrică.

Concluzii

Din trecerea în revistă a rapoartelor prezentate la secţia a 5-a rezultă o serie de concluzii importante privind mărirea gradului de automatizare pe partea energetică a principalilor consumatori industriali, perfecţionarea acţionărilor astfel încît să satisfacă simultan condiţiile impuse de buna desfăşurare a procesului tehnologic şi de a nu introduce perturbaţii în reţeaua de alimentare cu energie electrică.

Asigurarea unui înalt grad de automatizare şi introducerea pe scară largă a calculatoarelor de proces caracterizează atît preocupările producătorului cît şi consumatorului de energie electrică şi termică. Scopul principal al cercetărilor, modernizărilor, experimentărilor propuse spre generalizare este acela de a satisface simultan condiţiile de siguranţă în funcţionare, menţinerea parametrilor energetici în limitele prescrise şi asigurarea economicităţii atît din punctul de vedere al producţiei curente cît şi al investiţiilor pe partea de automatizare, protecţie, acţionare şi măsură.

Din modul de tratare a problemelor rezultă că sistemul energetic este privit ca un tot unitar, care include şi receptoarele consumatorului, ceea ce necesită un grad înalt de automatizare în centralele electrice, în reţeaua de transport şi distribuţie şi la consumatori, cu un schimb rapid şi eficient de informaţii care să permită luarea unor decizii de asigurare a continuităţii în alimentarea consumatorilor.

Îmbunătăţirile propuse atît în instalaţiile tehnologice cît şi pe partea de automatizare arată necesitatea soluţionării concomitente a celor două aspecte principale : *siguranţa* alimentării cu energie electrică şi termică a consumatorilor şi *economicitatea* întregului proces energetic, cuprins între grupurile din centralele electrice şi receptoarele din industrie.

Probleme supuse discuţiei în cadrul Secţiei a 5-a

Ţinînd seama de tematica secţiei şi de problemele tratate în rapoartele participanţilor, considerăm că discuţiile trebuie să se axeze în special pe următoarele direcţii :

— îmbunătăţirea proceselor de automatizare la nivelul furnizorului de energie electrică şi termică, în vederea asigurării continuităţii alimentării cu energie, la parametrii prescrişi, a consumatorilor industriali ;

— perfecţionări aduse în întreprinderile industriale pe partea de automatizare şi acţionare, utilizarea calculatoarelor de proces în energetica industrială şi asigurarea schimbului operativ de informaţii între sistemul energetic şi consumatorii industriali ;

— perfecţionări de ordin tehnologic care asigură o fiabilitate şi o eficienţă economică mărită în scopul realizării unor consumuri specifice minime ;

— posibilităţi de generalizare a experienţei pozitive din proiectare, cercetare şi exploatare, cu scopul ridicării gradului de automatizare a sistemelor energetice industriale.

Schemă modernă de reglare a apei de alimentare la blocurile funcţionînd pe combustibil inferior

Ing. Th. Ciselski,
Ing. Elvira Urcan*)

Problema reglării apei de alimentare se pune într-un mod cu totul particular la cazanele cu străbatere forţată în comparaţie cu cazanele cu tambur. Ceea ce deranjează în primul rînd pe proiectant, atunci cînd îşi pune problema concepţiei unei scheme de reglare a apei de alimentare la un cazan cu străbatere forţată, este faptul că pentru asigurarea corelaţiei juste între debitul de apă şi debitul caloric introdus în focar nu mai are la dispoziţie un criteriu atît de simplu cum este, de exemplu, nivelul în tambur la cazanele cu tambur. Această dificultate poate fi însă surmontată utilizînd temperaturile de pe traseul apă-abur în reglarea apei de alimentare.

O a doua dificultate care apare în reglarea apei de alimentare la cazanele cu străbatere forţată este legată de comportarea acestuia în regim de variaţie de sarcină.

În această situaţie, printr-o coordonare neadecvată a comenzilor către debitele de combustibil, apă şi aer se pot genera uşor variaţii importante ale temperaturilor pe traseul apă-abur, care pot duce pînă la declanşarea blocului.

În schema ce se discută în lucrarea de faţă sînt luate o serie de măsuri pentru evitarea acestor neplăceri şi, în plus, se mai ţine seamă şi de o serie de particularităţi ale funcţionării cazanului pe combustibil inferior (lignit).

Descrierea schemei de reglare

Schema de reglare a apei de alimentare (fig. 1) utilizează ca referinţă de bază referinţa regulatorului de putere electrică a turbinei. Acest semnal se formează într-o schemă care prevede limitarea vitezelor de creştere şi scădere a acestuia, indiferent dacă semnalul se primeşte local (de la pupitru) sau de la Dispecerul energetic naţional (DEN). Aceste limitări ţin seama de posibilitatea grupului de a-şi modifica sarcina în timp.

Semnalul de referinţă de sarcină este trecut printr-un element de tip PD, urmat de un element de întîrziere.

Acest mod de prelucrare a semnalului de sarcină are la bază următorul raţionament: în cazul unei variaţii de sarcină, pentru a obţine un răspuns mai rapid al grupului, combustibilul se „forţează" tranzitoriu prin prelucrarea referinţei de sarcină după o lege PD. Pe de altă parte, însă, în timpul variaţiei de sarcină nu au voie să apară variaţii importante ale temperaturilor pe traseul apă-abur, deoarece, în caz contrar, acestea ar scoate injecţiile din plaja de reglare şi s-ar periclita securitatea grupului. Pentru a evita variaţiile de temperatură, este important, în primul rînd, ca la nivelul vaporizatorului să existe un raport cît mai constant (în timp) între debitul caloric care se transmite în fiecare moment de la metal către amestecul apă-abur şi debitul de apă de alimentare a cazanului. Dacă există o asemenea concordanţă, atît în regim staţionar cît şi în regim tranzitoriu, variaţiile de temperatură ale aburului la ieşirea din vaporizator sînt practic nule, ceea ce face ca intervenţia regulatoarelor de injecţie să nu fie necesară.

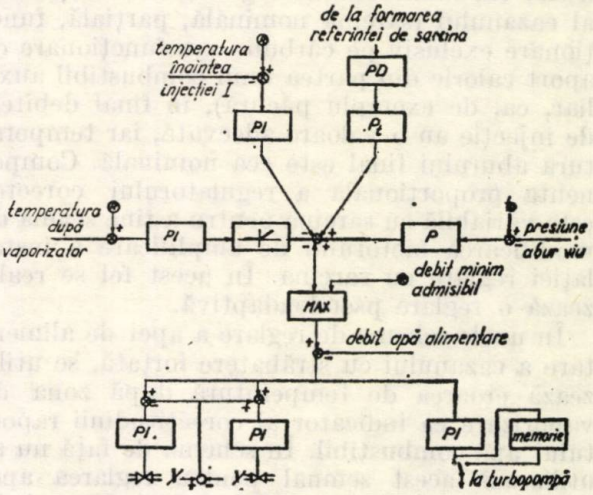


Fig. 1

Viteza alimentatoarelor variază deci după o lege de tip PD, după cum s-a arătat. Cum însă de la alimentarea morilor cu cărbune şi pînă la transmiterea căldurii către amestecul apă-abur din vaporizator mai apar o serie de întîrzieri (răspunsul morilor, degajarea căldurii în focar, transmiterea căldurii către metalul vaporizatorului), rezultă că pentru realizarea raportului constant menţionat anterior este necesar ca apa să fie comandată după o lege de tip PD întîrziat.

În afară de referinţele regulatorului de sarcină electrică, care, după cum s-a menţionat, formează referinţa de bază pentru apa de alimentare, în schemă se mai utilizează şi o serie de corecţii:

— Corecţia de temperaturi pe traseul apă-abur; această corecţie utilizează un semnal complex, care în esenţă certifică existenţa ventilelor de reglare a debitelor de injecţii pe traseul de abur viu într-o zonă adecvată pentru preluarea perturbaţiilor inerente de ardere. Se controlează căderile de temperatură pe injecţiile finale (stînga-dreapta) reglînd debitul de apă de injecţie intermediar; în acelaşi

*) Autorii sînt cercetători ştiinţifici la ICEMENERG.

timp, căderea de temperatură pe injecţiile intermediare se controlează prin corecţii asupra apei de alimentare.

Regulatorul corector, de tip PI, anulează în final eroarea de cădere de temperatură de la intrarea sa (datorită componentei integrale), astfel că, indiferent de regimul de funcţionare al cazanului (sarcină nominală, parţială, funcţionare exclusiv pe cărbune sau funcţionare cu aport caloric din partea unui combustibil auxiliar, ca, de exemplu păcură), în final debitele de injecţie au o valoare adecvată, iar temperatura aburului final este cea nominală. Componenta proporţională a regulatorului corector este variabilă cu sarcina pentru a ţine seama de modificarea factorului de amplificare a instalaţiei reglate cu sarcina. În acest fel se realizează o reglare pseudoadaptivă.

În unele scheme de reglare a apei de alimentare a cazanului cu străbatere forţată, se utilizează eroarea de temperatură după zona de vaporizare ca indicator al corectitudinii raportului apă-combustibil. În schema de faţă nu se utilizează acest semnal pentru reglarea apei de alimentare, deoarece folosirea sa cu rol de corecţie asupra debitului de combustibil duce la comportări de ansamblu mai bune ale grupului în cazul perturbaţiilor de ardere.

— Corecţia de presiune abur viu ; după cum se ştie, abaterile de presiune abur viu pot fi relativ uşor şi rapid anulate acţionînd asupra debitului de apă de alimentare. În acest scop s-a prevăzut o legătură proporţională între eroarea de presiune abur viu şi debitul de apă de alimentare.

— Corecţia de temperatură după zona de vaporizare ; are numai rol de protecţie, în sensul că în situaţii normale de funcţionare a grupului, ea este ineficace, însă dacă temperatura, în zona menţionată, scade sub o valoare minimă, ca urmare a unei perturbaţii majore de ardere (de exemplu căderea unei mori), se comandă scăderea debitului de apă de alimentare, pentru a evita intrarea apei în turbină.

Referinţa pentru debitul apei de alimentare este formată din suma tuturor semnalelor indicate mai sus. Această referinţă se mai compară cu o valoare-limită inferioară într-un element de selectare a maximului, pentru a preveni scăderea debitului de apă de alimentare sub o valoare minimă impusă de condiţiile tehnologice. Referinţa astfel formată se compară cu debitul de apă de alimentare şi în acest fel se obţine eroarea care, în final, atacă regulatoarele de apă de alimentare. Dacă, de exemplu, cazanul este alimentat de o turbopompă de 100% şi de două electropompe de 50%, atunci semnalul de eroare se distribuie în paralel în trei părţi. Semnalul pentru turbopompă se introduce într-un regulator proporţional integral, care generează un semnal utilizat apoi în regulatorul de viteză al turbopompei. Pentru a evita lipsa semnalului de comandă a regulatorului de viteză a turbopompei în cazul defectării regulatorului PI, precum şi pentru a permite o comutare automat-manual şi manual-automat fără şoc, în paralel cu regulatorul se introduce un element de memorare, care se află în regim de urmărire pe poziţia automat a regulatorului şi în regim de comandă de la pupitru pe poziţia manual a regulatorului. În ceea ce priveşte funcţionarea cu electropompele, trebuie avută în vedere încărcarea aproximativ egală a acestora.

Din acest motiv se utilizează o schemă în care, pentru fiecare regulator de electropompă, se generează o sumă între eroarea principală de debit (apă de alimentare) şi eroarea de poziţie (debit) a celor două electropompe. Pentru regimul de pornire a cazanului se mai prevede o buclă de reglare de debit minim, care acţionează un ventil special prevăzut. De asemenea, tot în regimul de pornire, se reglează şi presiunea la refularea pompelor, respectiv căderea de presiune pe ventilul menţionat anterior.

Modul de acordare a schemei de reglare a apei de alimentare

În ceea ce priveşte acordarea regulatoarelor subordonate (urmăritoare), care comandă în mod nemijlocit cuplele hidaulice şi turbopompa, este necesar să se obţină un răspuns cît mai rapid al debitului de apă de alimentare la o variaţie a mărimii de referinţă. Deoarece însă atît cuplele hidraulice cît şi turbopompa sînt nişte elemente deosebit de complexe din punct de vedere constructiv — uzura lor în timp antrenînd scăderea siguranţei în funcţionare a blocului — este necesar ca în procesul de acordare să se penalizeze şi comanda, în sensul obţinerii unei curse totale minime a organelor de reglare. Într-un cuvînt, trebuie obţinut un răspuns rapid, dar totuşi neoscilant al apei de alimentare la o variaţie de mărime de referinţă.

Mai trebuie de asemenea menţionat că această sarcină este facilitată de faptul că răspunsul debitului de apă de alimentare la o variaţie a vitezei pompelor este foarte rapid. De asemenea, nici cuplele hidraulice sau turbopompa nu introduc întîrzieri notabile în buclă.

Acordarea elementelor PD şi PT_1 care intervin în reglarea apei pe calea referinţei de sarcină trebuie realizată numai după acordarea elementului PD de pe calea de combustibil, şi în strînsă corelaţie cu acesta. Elementul PD de pe calea de combustibil se acordează ţinînd seama ca la creşterea (scăderea) maximă de putere, cu viteza maximă admisibilă a grupului variaţia temporară maximă a debitului de combustibil (sau a vitezei benzilor Redler) să nu depăşească dublul valorii de regim stabilizat [1]. Banda de proporţionalitate se stabileşte pe 100%.

Odată realizată acordarea elementului PD de pe calea de combustibil, se poate trece la acordarea elementelor de pe calea apă de alimentare. În acest scop este necesară înregistrarea simultană, pe un înregistrator cu o viteză mărită, a următorilor parametri:

— suma totală a vitezelor benzilor transportoare de cărbune;

— debitul de apă de alimentare;

— temperatura după vaporizator.

Ca valori de plecare se pot utiliza, pentru elementul PD, valorile de la elementul corespunzător de la buclele de reglare a combustibilului, iar pentru elementul PT_1 o bandă de proporționalitate de 100 % și o constantă de timp de circa 5 minute. După aceasta, cu grupul în regim cazan conducător și regulatorul principal cazan pe manual se dau, din referința de putere P_0, variații-treaptă de circa 5% P_n. Trebuie avut în vedere ca mărimea de referință să se transmită într-adevăr „treaptă" către cele două elemente PD din căile de combustibil și de apă de alimentare.

Acest fapt poate fi urmărit pe înregistrator. De asemenea, tot pe înregistrator se urmărește comportarea temperaturii după vaporizator, care trebuie să rămînă practic invariabilă atît pe parcursul cît și după variația de sarcină.

În cazul în care temperatura se abate de la valoarea ei de regim, se caută să se anuleze aceste abateri, modificînd parametrii de acord cu elementele PD și PT_1 de pe calea de apă.

Regulatorul de corecție pentru temperaturile de pe traseul apă-abur este de tip PI. Funcționarea pe automat a acestui regulator influențează în mod negativ stabilitatea generală a cazanului. Totuși, prezența sa este neapărat necesară pentru a atinge în final echilibrul perfect între debitul de combustbil și cel de apă de alimentare. Rezultă că este necesar ca acest regulator să fie acordat lent și cu bandă mare de proporționalitate. În orice caz, pe perioada acordării este necesar să se funcționeze cu grupul în regim „turbină conductoare" sau „paralel", deoarece în aceste regimuri tendința de depreciere a stabilității generale a cazanului ca urmare a acțiunii regulatorului în discuție este mai evidentă.

Legătura proporțională de la eroarea de presiune abur viu se ajustează în așa fel încît să se realizeze un compromis acceptabil între variațiile de presiune abur viu (care cresc odată cu creșterea benzii de proporționalitate) și variațiile de temperatură pe traseul apă-abur (care cresc odată cu scăderea benzii de proporționalitate).

Regulatorul de protecție pentru temperatura după vaporizator se acordează relativ rapid, deoarece intrarea sa în funcțiune indică deja o situație critică pentru securitatea cazanului. Pentru verificarea sa este neapărat necesară o probă „pe viu" de declanșare a unei mori de cărbune.

Concluzii

Schema de reglare utilizează:

— ca referință de bază, referința regulatorului de putere electrică a turbinei (acest semnal de referință de sarcină este trecut printr-un element de tip PD, urmat de un element de întîrziere);

— o serie de corecții: de temperatură pe traseul apă-abur; de presiune abur viu; de temperatură după zona de vaporizare.

Referința pentru debitul apei de alimentare este formată din suma algebrică a tuturor semnalelor indicate anterior.

Pentru regimul de pornire a cazanului se mai prevede o buclă de reglare de debit minim și de presiune la refularea pompelor.

Modul de acordare a schemei dă indicații în privința acordării regulatoarelor subordonate (urmăritoare) care comandă în mod nemijlocit cuplele hidraulice și turbopompa.

Bibliografie

[1] Cerny, V. *Proprietățile dinamice ale unui circuit de moară cu ventilator.* În: Energietechnik nr. 4, 1973.

[2] Borsi, L. *Cercetare comparativă asupra schemelor de reglare ale blocurilor cu cazane cu străbatere forțată.* În: BWK nr. 3, 1973.

[3] Livezeanu, S. și Ciselski, Th. *Studiul posibilității de participare a grupului de 330 MW la reglajul frecvență-putere.* În: Generalizarea experienței de exploatare, ICEMENERG, nr. 153, 1977.

Parametrii nodali de siguranță caracterizînd alimentarea din sistem a consumatorilor industriali

Ing. **Hermina Albert**
și ing. **Anca Mihăilescu***)

1. Considerații generale

Soluția de alimentare din sistem a unui consumator industrial face obiectul unor analize de detaliu, din punct de vedere tehnic și economic, evident și cu luarea în considerare a aspectelor de siguranță în funcționare, studii care de regulă se opresc la incinta întreprinderii și la siguranța prezentată de instalațiile prin care se realizează legătura acesteia cu sistemul energetic (stația de înaltă tensiune și liniile de racordare la sistem).

Practica de exploatare a arătat însă că asupra continuității în alimentarea cu energie electrică a unei platforme industriale pot avea o mare influență caracteristicile de funcționare ale ansamblului sistemului energetic și că stabilirea nivelului de siguranță la care se va realiza alimentarea din sistem poate fi caracterizată prin parametrii de siguranță asociați nodurilor de sistem.

Determinarea unor indicatori medii probabili care să caracterizeze siguranța nodurilor are drept scop stablirea nivelului de siguranță al acestora. Totodată, aceștia permit calcularea parametrilor de siguranță echivalenți, ai legăturii dintre nodul analizat și sistem, ceea ce face posibil studiul siguranței în funcționare pentru rețelele din aval alimentate din aceste noduri, cu considerarea sistemului energetic.

Nodurile sistemului energetic îndeplinesc funcții diferite. Prin ele se poate face o injecție de putere de la o tensiune inferioară la cea a nodului (generare) sau de la tensiunea nodului la o tensiune inferioară (consum), dar pot servi și numai pentru tranzitarea energiei între două noduri vecine celui analizat. Rezultă că după rolul lor nodurile se împart în două categorii: de injecție și de tranzit. Este de la sine înțeles că adesea un același nod îndeplinește ambele roluri (mixt), dar și în acest caz, pentru analiza siguranței, se vor avea în vedere distinct cele două funcții. De remarcat că, de regulă, la tensiunea de 400 kV și 220 kV nodurile sînt mixte.

Siguranța în funcționare a nodului este caracterizată de indicatori numerici referitori la funcția sau fiecare din funcțiile acestuia. În mod curent se determină probabilitatea de realizare a funcției — probabilitatea de succes, numărul mediu și maxim al refuzurilor datorită deteriorărilor de utilaj și durata acestora, numărul mediu și maxim al refuzurilor care se elimină prin manevre.

*) Autoarele lucrează la ISPE.

Siguranța nodului, probabilitatea ca prin aceasta să se realizeze funcțiile cerute, poate fi descompusă în două componente [1], [2]:

— Siguranța *intrinsecă*, proprie a nodului, care depinde de factorii locali, de schema de conexiune, caracteristicile aparatajului, modul de întreținere și exploatare a stației.

— Siguranța *asociată*, de legătură cu celelalte noduri ale sistemului, care depinde de numărul, lungimea și capacitatea liniilor de legătură cu nodurile vecine, depărtarea electrică și capacitatea căilor de la sursa de alimentare la nod; importanța consumatorilor alimentați prin aceleași căi cu nodul considerat, ceea ce poate determina, în condițiile depășirii capacităților de transport, limitarea cu prioritate a consumului din nodul analizat.

Este important de subliniat că între siguranța intrinsecă și cea asociată există o legătură. Astfel, spre exemplu, creșterea numărului legăturilor cu sistemul conduce la creșterea siguranței asociate, dar prin mărirea numărului de celule racordate la bara nodului, siguranța intrinsecă a acestuia scade.

De asemenea se constată că siguranța intrinsecă, calculată pentru o schemă de conexiuni a nodului dat (corespunzător unui număr de legături cu sistemul cunoscut), este o valoare fixă, în timp ce siguranța asociată poate varia în limite largi cu condițiile din sistemul energetic (schimbarea regimului de funcționare a centralelor, apariția de noi consumatori în zona în care daunele la întreruperea alimentării cu energie electrică sînt mai mari decît la consumatorul racordat în nodul analizat ș.a.).

Metodele de calcul al indicatorilor nodali de siguranță diferă, după cum se urmărește stabilirea lor în proiectare (pentru un termen lung) sau în exploatare curentă (pe termen scurt).

Stabilirea indicatorilor de siguranță intrinsecă se face cu ajutorul programului SAFETY-3 [3], care permite analiza siguranței în funcționare a unui sistem cu elemente în rezervă activă sau pasivă.

— Siguranța *asociată* se analizează considerînd numai întreruperile de durată, întreruperile de manevră nefiind incluse întrucît asupra siguranței unui nod au importanță practic numai cele din propria instalație, stabilite la studiul siguranței intrinsece, cele exterioare influențînd prea puțin.

Siguranța asociată se determină prin calcul pentru mai multe paliere de funcționare ale sistemului energetic.

În această determinare, o influență deosebită, în afara structurii rețelei, o are repartiția sarcinii pe centrale și condițiile de siguranță impuse de consumatorii dintr-o zonă.

Repartiția sarcinii pe centrale poate schimba rolul unui nod, de exemplu din nod de injecție în nod de injecție și tranzit. De aceea, pe fie-

care palier analizat, calculele de siguranţă sînt precedate de calcule de regimuri.

Condiţiile impuse de consumatori, respectiv valoarea daunelor pentru întreruperi de diferite durate, stabilesc ordinea de deconectare a acestora la apariţia unor strangulări de capacitate în arterele de transport. Funcţia de optimizat fiind costul total al exploatării sitemului energetic (al generării şi al daunelor, la consumatori), în condiţiile unor restricţii date (puterile efectiv utilizabile pe centrale, capacitatea-limită a elementelor de transport), se determină, pentru fiecare palier şi fiecare avarie analizată, eventualele reduceri de putere în fiecare nod în parte, pentru respectarea încărcărilor admisibile (pe centrale şi artere).

Limita de încărcare pe elementele de transport este, de regulă, determinată prin calcule de stabilitate pentru linii şi valoarea cu suprasarcină admisibilă a curentului pe elementele de transformare (autotransformatoare şi transformatoare).

Calculele efectuate pentru ansamblul unor zone ale sistemului energetic au evidenţiat variaţia în limite foarte largi a siguranţei asociate în funcţie de palier.

Evident că, dacă alimentarea unui nod se face de la sursa (CTE sau CHE) de care este legat printr-o linie directă, probabilitatea de întrerupere este cu mult mai mică decît în cazul alimentării de la o sursă depărtată, calea de alimentare trecînd printr-un mare număr de noduri. În primul caz, valoarea siguranţei intrinseci este hotărîtoare pentru siguranţa nodului, în al doilea caz cele două valori sînt practic legate şi fiecare dintre ele poate conduce în egală măsură la nesatisfacerea funcţiilor nodului.

2. Metoda de calcul

Stabilirea indicatorilor nodali de siguranţă asociată pentru staţiile de 400 kV şi 220 kV din sistemul energetic se bazează pe descrierea funcţionării SE ca un proces stocastic de tip Markov. Întrucît se poate considera că evenimentele care survin în timpul exploatării unei scheme (intrarea în funcţiune, deconectarea, avarierea unui element) nu depind de momentele în care se vor produce, ci numai de durata intervalului în care se vor realiza, sîntem conduşi la lanţuri Markov staţionare [4].

Determinarea indicatorilor de siguranţă asociată a nodurilor SE comportă :

— stabilirea schemei sistemului energetic pentru calculele de fiabilitate, prin caracterizarea fiecărui element al reţelei prin parametrii de siguranţă corespunzători ;

— reducerea schemei generale, în vederea studiului siguranţei nodurilor dintr-o anumită zonă (păstrată cu configuraţia iniţială) ;

— determinarea generatoarelor echivalente de fiabilitate la graniţele dintre zone şi a capacităţilor acestora ;

— stabilirea indicatorilor de siguranţă asociată.

2.1. *Stabilirea schemei pentru calcule de fiabilitate*

În vederea stabilirii acestei scheme au fost utilizate valorile parametrilor de siguranţă, pe elementele reţelei de transport.

Calculele de siguranţă se pot efectua pe o schemă dată sau, în cazul unor scheme cuprinzînd un număr mare de elemente, înlocuind unele dintre acestea printr-un element echivalent [5], obţinîndu-se o schemă redusă.

Un echivalent de siguranţă „al unei conexiuni date" trebuie să permită practic, fără a influenţa exactitatea rezultatelor obţinute :

— simplificarea studiilor de siguranţă (prin reducerea numărului de ecuaţii) şi

— facilitarea punerii în evidenţă a importanţei unui element pentru siguranţa în funcţionare a conexiunii analizate (înlocuind anumite părţi ale conexiunii prin elemente echivalente).

Condiţiile de echivalare urmăresc ca să se obţină pentru elementul echivalent aceiaşi indicatori numerici de siguranţă ca şi pentru grupul de elemente pe care îl înlocuieşte.

Calculul se efectuează cu ajutorul programului ECSIRE, a cărui schemă-bloc este prezentată în figura 1. Relaţiile de bază de echivalare sînt date în anexă.

2.2. *Determinarea generatoarelor echivalente de fiabilitate la graniţele dintre zone şi a capacităţilor acestora*

În acest scop, după o analiză a contingenţelor prin care se pot determina evenimentele ce pot conduce la refuz, se aplică programul SAFETY la schema redusă a sistemului şi se obţin indicatorii căutaţi.

Capacitatea generatoarelor echivalente s-a considerat cea mai mică dintre : limita termică a întregii căi de alimentare a nodului limită de zonă, limita de stabilitate statică şi capacitatea de alimentare a surselor pentru palierul analizat.

2.3. *Stabilirea indicatorilor nodali de siguranţă asociată*

După cum s-a menţionat, siguranţa asociată depinde în mare măsură de configuraţia reţelelor şi parametrii de fiabilitate ai elementelor componente, dar şi de o serie de factori tehnici şi economici caracteristici.

În condiţii speciale în care, ca urmare a unei avarii (de linie, de grup), nu mai pot fi alimentaţi toţi consumatorii, alegerea consumatorilor sacrificaţi este în funcţie de daunele

rezultate ca urmare a limitării puterii livrate (evident vor fi sacrificaţi în primul rînd consumatorii la care daunele sînt reduse), ţinînd seama de capacitatea de producţie şi transport a instalaţiilor rămase în funcţiune.

Avînd în vedere situaţia specifică în reţea a fiecărui nod, rezultă că nu se poate vorbi de un nivel general de asigurare pe ansamblul sistemului energetic, deoarece acesta nu reflectă modul în care sînt satisfăcute cererile de continuitate în alimentarea diferiţilor consumatori reali.

Studii şi calcule au arătat că pentru un anumit nivel de asigurare a consumului pe ansamblu, pentru diferite noduri, în funcţie de configuraţia reţelelor şi de restricţiile reale existente (capacitate de transport, limite de variaţie a puterii produse, importanţa consumatorilor), gradul de asigurare poate varia în limite foarte largi, putînd fi chiar mult superior celui al ansamblului în anumite noduri, unde sînt racordaţi consumatorii mai importanţi.

Calculele de siguranţă urmăresc caracterizarea fiabilităţii nodurilor prin indicatori numerici.

Stabilirea acestora necesită gruparea totalităţii stărilor prin care poate trece sistemul, în stări de succes şi de insucces, în raport cu fiecare nod în parte. Stările de insucces sînt acelea în care consumatorul este afectat, chiar dacă puterea în nod este redusă cu 1 MW.

Ca urmare a analizei efectuate se pot determina, pentru fiecare nod şi pe ansamblul sistemului, valorile medii multianuale pentru duratele de întrerupere a anumitor nivele de putere, numărul întreruperilor.

Pornind de la configuraţia sistemului analizat, se generează automat lista stărilor prin care poate evolua complexul şi matricea probabilităţilor de tranziţie ataşată acestora.

Utilizînd metoda proceselor stocastice, de tip Markov, cu timp continuu şi probabilităţile de trecere staţionare, se obţin probabilităţile şi numărul de întreruperi asociate stărilor ce descriu evoluţia sistemului analizat.

Împărţirea stărilor în stări de succes sau insucces în raport cu fiecare nod în parte se poate realiza numai după analiza comportării ansamblului în fiecare stare în parte.

Printr-o metodă de programare liniară [1] în care se urmăreşte optimizarea (minimizarea unei funcţii de cost cuprinzînd atît costul generării cît şi daunele rezultate la consumatori ca urmare a reducerii puterii livrate, se determină pentru fiecare stare condiţiile în care sînt satisfăcute cererile de putere din fiecare nod.

Funcţia al cărui minim se caută este:

$$F = \sum_{i=1}^{g} P_i C_i + \sum_{j=1}^{k} (\bar{P}_j - P_j)\, d_j$$

în care

P_i este puterea produsă de generatorul i [MW];

C_i — costul generării în centrala i [lei/MW];

$\bar{P}_j$ — sarcina consumatorului din nodul j [MW];

P_j — puterea asigurată consumatorului în nodul j;

d_j — dauna în condiţii de nealimentare [lei/MW];

g — numărul de generatoare;

k — numărul de noduri de consum.

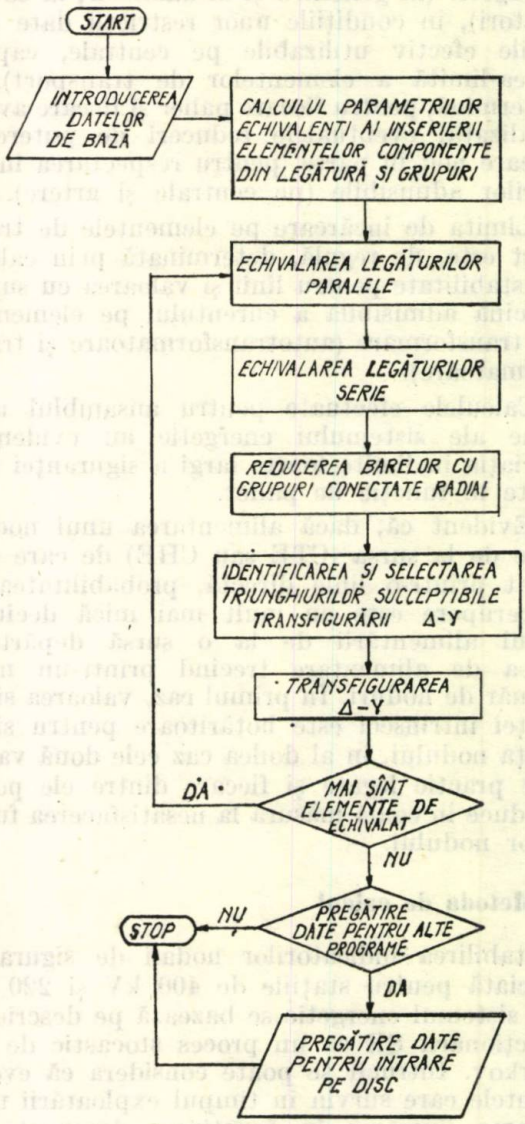


Fig. 1

Minimizarea se face cu respectarea următoarelor restricţii:

$$P_i \leqslant P_{i\,max}$$

$$P_i \geqslant P_{i\,min}$$

$$|P_{ij}| \leqslant \bar{P}_{ij}$$

unde

P_{ij} este circulaţia de putere pe linia ij;

$\bar{P}_{ij}$ — valoarea maximă admisibilă pe linia ij.

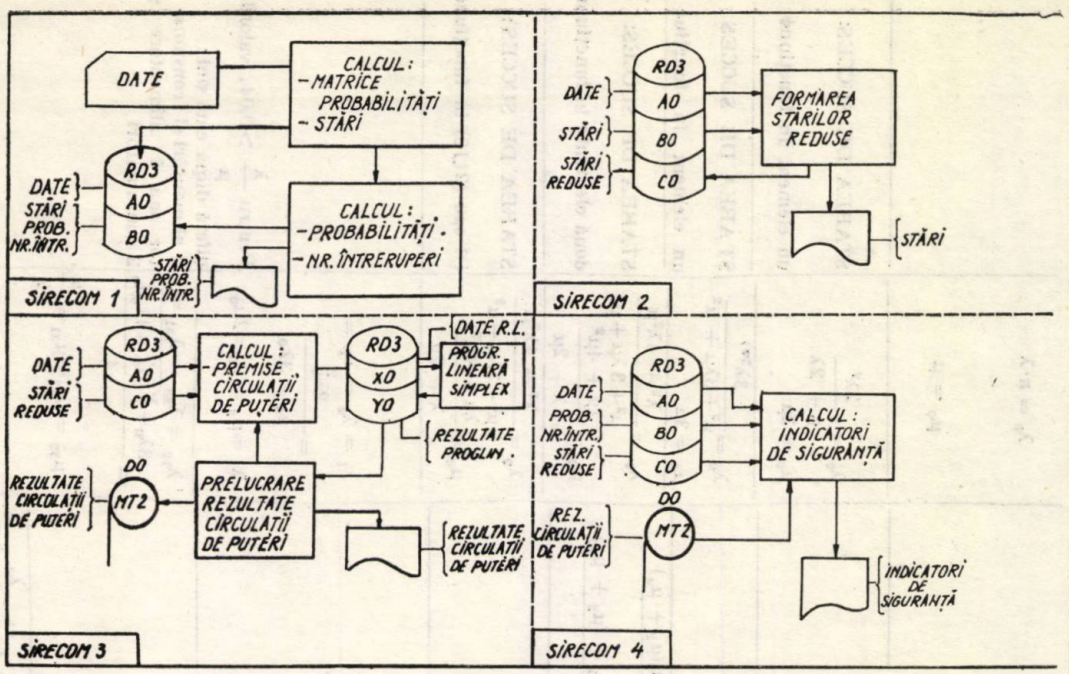


Fig. 2

De menționat că dacă se urmărește numai valoarea indicatorilor de siguranță, și nu valoarea absolută a funcției economice, nu este necesară cunoașterea valorilor absolute ale lui C_i și d_j, ci numai ordinea lor de economicitate.

Evident $d_j > C_i$; în caz contrar consumul va fi anulat chiar din regimul optim inițial.

În prezent calculele de circulații de puteri se efectuează după o metodă simplificată, denumită uzual „în curent continuu", luînd în considerare capacitățile de transport ale liniilor și limitele puterii active (P_{min} și P_{max}) pe centralele electrice.

Introducerea restricției de încadrare a puterii generate între o putere minimă și una maximă (considerarea deci a unei încărcări-limită minimă diferită de zero) a pus probleme deosebite, deoarece în diferitele situații ale rețelei — corespunzătoare diferitelor stări — se pot crea ruperi ale sistemului, pentru fiecare zonă trebuind să fie satisfăcută condiția:

$$P_{cerut} \geqslant P_{min\ generat}$$

Metoda de calcul prevede efectuarea unor controale și rezolvarea situațiilor speciale, care apar după cum urmează:

— suma puterilor consumate este mai mică decît suma puterilor produse la minimul tehnic de grupurile din sistem. În acest caz, prin program sînt oprite grupurile cele mai neeconomice;

— suma dintre puterea consumată în nod și puterile pe liniile ce pleacă din nod poate fi mai mică decît injecția de putere corespunzătoare minimului tehnic din grupurile nodului. În acest caz sînt oprite grupurile cele mai neeconomice la restabilirea condiției de bilanț (puterea consumată + puterea pe linii ⩾ puterea generată la minimul tehnic);

— în cazul circulațiilor de puteri, o linie atingînd limita sa tehnică, iar alte linii fiind descărcate, se poate ca unul sau mai multe grupuri să fie încărcate sub minimul tehnic.

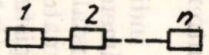
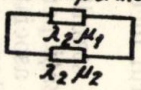
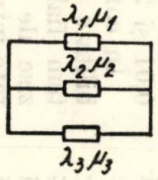
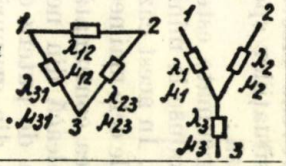
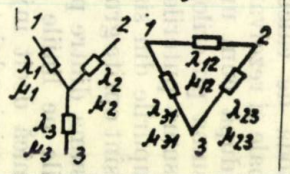
În această situație, minimul tehnic este fixat la valoarea zero pentru grupurile în cauză. Calculele se efectuează cu ajutorul programului SIRECOM (fig. 2) [6].

3. Rezultate obținute

În urma aplicării acestei metode de analiză s-au putut evidenția nodurile de sistem în care, independent de schema stației de racord, nu se puteau asigura condițiile de continuitate cerute de consumator. S-au evidențiat de asemenea legăturile necesar a fi realizate (în unele cazuri, legături directe între nodul consumator și sursă și înlocuind racordarea la barele unor noduri de sistem învecinate) pentru asigurarea continuității cerute.

Valorile obținute pentru indicatorii de siguranță asociată au variat în limite largi, de exemplu numărul mediu al întreruperilor între 0,01 și 2,7.

În concluzie, stabilirea de indicatori de fiabilitate ierarhizați pentru alimentarea din sistem (fiabilitate asociată) și instalațiile propriuzise de alimentare a consumatorului (fiabilitate intrinsecă) permite o depistare mai ușoară a măsurilor eficiente pentru atingerea nivelului de siguranță economic justificat.

Schema	Parametrii echivalenți	Parametrii echivalenți pentru elemente identice	Observații
1 	$\lambda_0 = \sum_1^n \lambda_1$ $\mu_0 = \dfrac{\lambda_0}{\sum_1^n \dfrac{\lambda_1}{\mu_1}}$	$\lambda_0 = n \cdot \lambda$ $\mu_0 = \mu$	
1a Elemente în paralel 	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda_1 \lambda_2(\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1\mu_2 + \lambda_1\mu_2\ \lambda_2\mu_1}$ $\mu_0 = \mu_1 + \mu_2$	$\lambda_0 = \dfrac{2\lambda^2}{\mu + 2\lambda}$ $\mu_0 = 2\mu$	STAREA DE SUCCES: un element în funcțiune
1b 	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)}{\mu_1\mu_2\mu_3 + \lambda_1\mu_2(\lambda_3 + \mu_3) + \lambda_2\mu_3(\lambda_1 + \mu_1) + \lambda_3\mu_1(\lambda_2 + \mu_2)}$ $\mu_0 = \mu_1 + \mu_2 + u_3$	$\lambda_0 = \dfrac{3\lambda^{3*)}}{\mu^2 + 3\lambda\mu + \mu^2}$ $\mu_0 = 3\mu$	STAREA DE SUCCES: un element în funcțiue
	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) + \lambda_1\lambda_2\mu_3(\mu_1 + \mu_2) + \lambda_2\lambda_3\mu_1(\mu_2 + \mu_3) + \lambda_3\lambda_1\mu_2(\mu_1 + \mu_3)}{\mu_1\mu_2\mu_3 + \mu_2\mu_3\lambda_1 + \mu_3\mu_1\lambda_2 + \mu_2\mu_1\lambda_3}$ $\mu_0 = \dfrac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) + \lambda_1\lambda_2\mu_3(\mu_1 + \mu_2) + \lambda_3\lambda_1\mu_2(\mu_1 + \mu_3) + \lambda_2\lambda_3\mu_1 + (\mu_2 + \mu_3)}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_1\lambda_2\mu_3 + \lambda_2\lambda_3\mu_1\ \lambda_3\lambda_1\mu_2}$	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda^3 + 4\lambda^2\mu}{\mu^2 + 3\lambda\mu + \mu^2}$ $\mu_0 = \dfrac{\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu}$	STAREA DE SUCCES: două elemente în funcțiune
	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3\mu_1 + \lambda_1\lambda_2\mu_3(\mu_1 + \mu_2) + \lambda_1\lambda_3\mu_2(\mu_1 + \mu_3)}{\mu_1\mu_2\mu_3 + \lambda_1\mu_2\mu_3 + \lambda_2\mu_1\mu_3 + \lambda_3\mu_1\mu_2 + \lambda_2\lambda_3\mu_1}$ $\mu_0 = \dfrac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3\mu_1 + \lambda_1\lambda_2\mu_3(\mu_1 + \mu_2) + \lambda_1\lambda_3\mu_2(\mu_1 + \mu_3)}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_1\lambda_2\mu_3 + \lambda_1\lambda_3\mu_2}$	$\lambda_0 = \dfrac{\lambda^3 + 4\lambda^2\mu}{\mu^2 + 3\lambda\mu + \mu^2}$ $\mu_0 = \dfrac{\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda + 2\mu}$	STAREA DE SUCCES: ()1 sau (2∪3) în funcțiune
Transformarea triunghi-stea  3a	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3 \quad \lambda_i = \dfrac{\dfrac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}} \cdot \dfrac{\lambda_{ik}}{\mu_{ik}}(\mu_{ij} + \mu_{ik})}{1 + \dfrac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}} + \dfrac{\lambda_{ik}}{\mu_{ik}} + \dfrac{\lambda_{ik}}{\mu_{jk}}}$ $\mu_i = \mu_{ij} + \mu_{ik}$	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dfrac{2\lambda_0^2}{\mu_0 + 3\lambda_0}$ $\lambda_1 = \mu_2 = \mu_3 = 2\mu_0$	Pentru $\dfrac{\lambda}{\mu} > 0{,}04$, valorile diferă după cum sînt: 2 alimentări și 1 consumator sau 1 alimentare și 2 consumatori
Transformarea stea - triunghi  3b	$\lambda_{ij} = \Lambda \dfrac{\mu_i + \mu_j - \mu_k}{4\dfrac{\lambda_k}{\mu_k}}$ $\lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \mu_{12}, \mu_{23}, \mu_{31} \quad \mu_{ij} = \dfrac{\mu_j + \mu_j - \mu_k}{2}$ $\Lambda = \dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \dfrac{\lambda_2}{\mu_2} + \dfrac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \dfrac{\lambda_3}{\mu_3} + \dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \dfrac{\lambda_3}{\mu_3} + \sqrt{\left(\dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \dfrac{\lambda_2}{\mu_2} + \dfrac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \dfrac{\lambda_3}{\mu_3} + \dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \dfrac{\lambda_3}{\mu_3}\right)^2 + 4\dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \dfrac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \dfrac{\lambda_3}{\mu_3}}$	$\lambda_{12} = \lambda_{23} = \lambda_{31} = \dfrac{3\lambda_0 + \sqrt{9\lambda_0^2 + 4\lambda_0\mu_0}}{4}$ $\mu_{12} = \mu_{23} = \mu_{31} = \dfrac{\mu}{2}$	

*) Acest rezultat poate fi generalizat pentru n elemente: $\lambda_0 = \dfrac{n\mu\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 - \lambda^n} \quad \mu_0 = n\mu$

Bibliografie

[1] Nitu, V. I., Albert, H., Cîmpeanu, H. şi Ionescu, S. *Power system reability indicators.* PSCC Grenoble, 1972, Paper 1,2/4.

[2] Albert, H. *Aspecte privind siguranţa nodurilor de sistem.* Simpozionul Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice IV/-14, Bucureşti, 1977.

[3] Albert, H. şi Cîmpeanu, H. *Ghid de utilizare a programelor SAFETY.* Centrul de calcul ISPE.

[4] * * * *Normativ privind elementele de calcul al siguranţei în funcţionarea instalaţiilor energetice. PE-013/73.*

[5] Albert, H. *Equivalent diagrams for reability studies of power connections.* În: Rev. Roum. des sciences techn., série Electrotechn. et Energ., 16, 1971, p. 149—174.

[6] Albert, H. şi Cîmpeanu, H. *Ghid de utilizare a programelor SIRECOM.* Centrul de calcul ISPE.

Modelarea optimă a cazanelor din centralele termoelectrice pe şisturi bituminoase, utilizînd criteriile de performanţă tehnico-economică

Dr. ing. **E. Ceangă**
ing. **I. Bivol**
ing **R. Duduica**
ing. **C. Tutunaru***)

În articolul de faţă, optimizarea parametrică a circuitelor de reglare în centralele termoelectrice este realizată prin modelare, simulare şi optimizare, utilizînd modelul instalaţiei ca un sistem dinamic multivariabil.

În lucrările [1] şi [2], această problemă este soluţionată prin metode de optimizare parametrică, în cazul unui cazan cu străbatere forţată, sau prin teoria reglării liniare optime, în cazul unui cazan de tip tambur. În ambele cazuri s-au utilizat criteriile de performanţă tehnică (o funcţie de cost pătratică). În articolul de faţă, comanda optimă a centralelor termoelectrice pe şisturi bituminoase se bazează pe criteriile de performanţă tehnică şi economică deoarece puterea calorică a combustibilului este variabilă într-o gamă largă.

Performanţele metodologiei de optimizare sînt determinate de fidelitatea modelului folosit. Procesele care au o influenţă importantă asupra răspunsului dinamic global al cazanului au fost descrise ca procese cu parametri distribuiţi.

*) Dr. ing. E. Ceangă este profesor la Institutul politehnic Galaţi; ing. I Bivol este şef de lucrări la Institutul politehnic Galaţi; ing. R. Duduica şi ing. C. Tutunaru sînt cercetători ştiinţifici la ICEMENERG.

1. Modelarea şi simularea numerică a sistemului

Cazanul cu străbatere forţată a fost analizat luîndu-se în considerare următoarele subsisteme:

1) circuitul de supraîncălzire;

2) economizorul şi vaporizorul în stare supracritică;

3) circuitele de aer, gaze de ardere şi de alimentare cu combustibil.

1.1. *Modelarea şi simularea numerică a debitului supraîncălzitoarelor*

Circuitul de supraîncălzire constă din cinci supraîncălzitoare şi două camere de injecţie (fig. 1). Răspunsul dinamic al cazanului este determinat în mod hotărîtor de circuitul de supraîncălzire a aburului, din care cauză se foloseşte un model cu parametri distribuiţi. Alegerea succesiunii sistemului, adică mărimea vectorilor — determinată de numărul acumulărilor independente într-un element infinitezimal — a fost stabilită ţinînd seamă de următoarele considerente:

— un model de ordin superior implică dificultăţi analitice mari şi necesită numai o abordare numerică;

— modelele cu număr redus de variabile de stare permit tratarea analitică, în vederea creşterii acurateţii simulării şi a reducerii la minimum a timpului de calcul.

Bazaţi pe experienţa în modelare şi simulare a sistemelor cu parametri distribuiţi, autorii consideră mai avantajos să adopte un model simplificat, care să poată fi soluţionat pe cale analitică, decît un model care aparent prezintă acurateţe, dar care de fapt comportă erori de trunchiere importante.

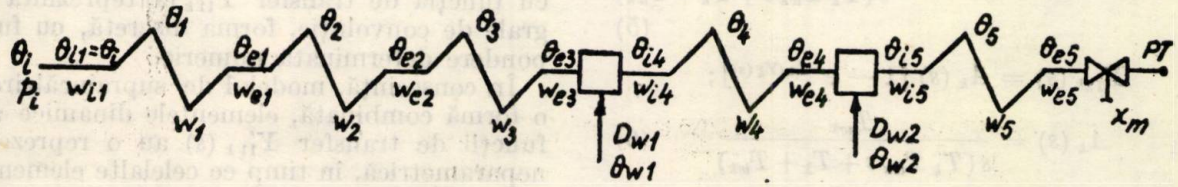


Fig. 1

În modelul supraîncălzitorului, decuplat de circuitul de gaze de ardere, au fost considerate următoarele acumulări independente:

— acumularea de căldură în metalul ţevilor;

— acumularea de căldură în abur.

Se consideră că acumularea de masă în ecuaţiile de bilanţ de masă nu este independentă de acumularea de căldură în abur. În consecinţă, avem un model cu parametri distribuiţi de ordinul doi.

Prin liniarizare, ecuaţiile de stare ale supraîncălzitorului k ($k = 1, \ldots, 5$) sînt :

$$T_k \frac{\partial \theta_k}{\partial t} + R_k \frac{\partial \theta_k}{\partial x} = \theta_{wk} - \theta_k + K_k w_k$$

$$\frac{\partial \theta_{wk}}{\partial t} = q_k + \frac{1}{T_{wk}} (\theta_k - \theta_{wk}) - \frac{m}{1-m} K_k w_k, \quad (1)$$

în care

θ_k este temperatura aburului;
θ_{wk} — temperatura metalului ţevilor;
q_k — densitatea căldurii primite de la circuitul de gaze arse;
w_k — viteza aburului;
T_k, R_k, T_{wk}, K_k şi m — constante.

Ecuaţia de bilanţ de masă este o ecuaţie de ieşire şi are forma :

$$a_k \frac{\partial \theta_k}{\partial t} = b_k \frac{\partial w_k}{\partial x} + c_k \frac{\partial \theta_k}{\partial x} + d_k w_k, \quad (2)$$

unde a_k, b_k, c_k şi d_k sînt constante.

Structura adoptată şi intrarea-ieşirea sistemului sînt prezentate în figura 2, în care L_k reprezintă lungimea supraîncălzitorului.

Utilizînd transformarea integrală, se obţin, conform ecuaţiilor reprezentării Laplace, pentru ieşire, următoarele relaţii :

$$\theta_{ek}(s) = Y_{11k}(s)\,\theta_{ck}(s) + Y_{12k}(s)\,W_{0k}(s) + Y_{13k}(s)\,Q_{0k}(s) \quad (3)$$

$$W_{ek}(s) = Y_{21k}(s)\,\theta_{0k}(s) + Y_{22k}(s)\,W_{0k}(s) + Y_{23k}(s)\,Q_{0k}(s) \quad (4)$$

unde

$$Y_{11k}(s) = e^{-L_k/Y_k(s)}; \quad Y_k(s) = \frac{R_k(T_{wk}+1)}{s(T_k T_{wk} s + T_k + T_{wk})} \quad (5)$$

$$Y_{12k}(s) = A_k(s)\,[1 - e^{-L_k/Y_k(s)}];$$

$$A_k(s) = \frac{T_{wk}}{s(T_k T_{wk} s + T_k + T_{wk})} \quad (6)$$

$$Y_{13k}(s) = B_k(s)\,[1 - e^{-L_k/Y_k(s)}];$$

$$B_k(s) = K_k \frac{(1-m)(T_{wk}s+1) - mT_{wk}}{s(T_k T_{wk} s + T_k T_{wk})} \quad (7)$$

$$Y_{21k}(s) = C_k(s)\,D_k(s)\,[Y_{11}(s) - f_k] \quad (8)$$

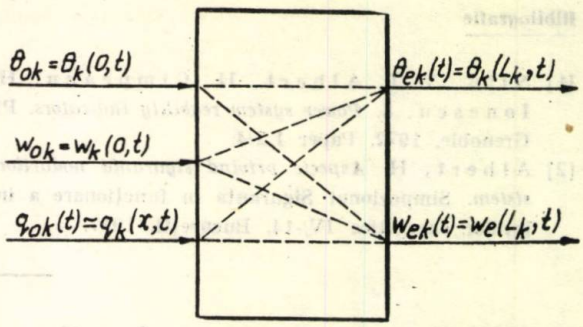


Fig. 2

unde

$$C_k(s) = a_k s + \frac{c_k}{Y_k(s)};$$

$$D_k(s) = \frac{Y_k(s)}{d_k Y_k(s) - b_k}; \quad f_k = e^{-L_k \frac{d_k}{b_k}} \quad (9)$$

$$Y_{22k}(s) = f_k + a_k \frac{1-f_k}{d_k} a_k s B_k(s) - B_k(s)\,C_k(s)\,D_k(s)\,[Y_{11k}(s) - f_k] \quad (10)$$

$$Y_{23k}(s) = \frac{1-f_k}{d_k} a_k s A_k(s) - A_k(s) C_k(s) D_k(s)\,[Y_{11k}(s) - f_k] \quad (11)$$

Problema cea mai dificilă este simularea numerică a sistemului cu funcţia de transfer $Y_{11k}(s)$.

Soluţionarea acestei probleme a fost făcută prin descompunerea funcţiei de transfer în factori care au reprezentări inverse şi care sînt fie cunoscuţi analitic, fie determinaţi numeric.

Astfel, funcţiile $Y_{11k}(s)$ se scriu :

$$Y_{11k}(s) = C_k e^{-T_{mk}s} Y'_{11k}(s), \quad (12)$$

unde

$$\lim_{\omega \to \infty} Y'_{11k}(j\omega) = 0 \quad (13)$$

Modelul matematic al elementelor dinamice cu funcţia de transfer $Y'_{11k}(s)$ reprezintă integrale de convoluţie, forma discretă, cu funcţia pondere determinată numeric.

În consecinţă, modelul de supraîncălzire are o formă combinată, elementele dinamice avînd funcţii de transfer $Y'_{11k}(s)$ au o reprezentare neparametrică, în timp ce celelalte elemente au o descriere parametrică prin funcţii de transfer discrete.

Modelul final discret $\theta_{ek}[n]$ şi modelul final $W_{ek}[n]$ sînt redate în figurile 3 şi 4. În aceste modele, E este elementul reprezentării neparametrice şi n_{Lk} este un număr întreg de T_{mk}/T (T este perioadă de eşantionare).

Camerele de injecție au fost descrise matematic prin modele dinamice multivariabile de ordinul întîi, avînd parametri concentrați.

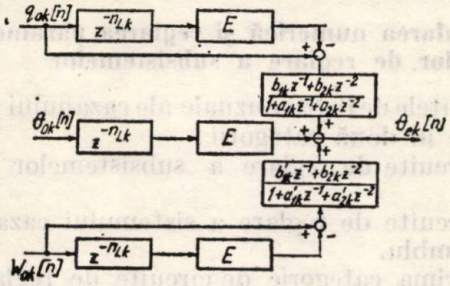


Fig. 3

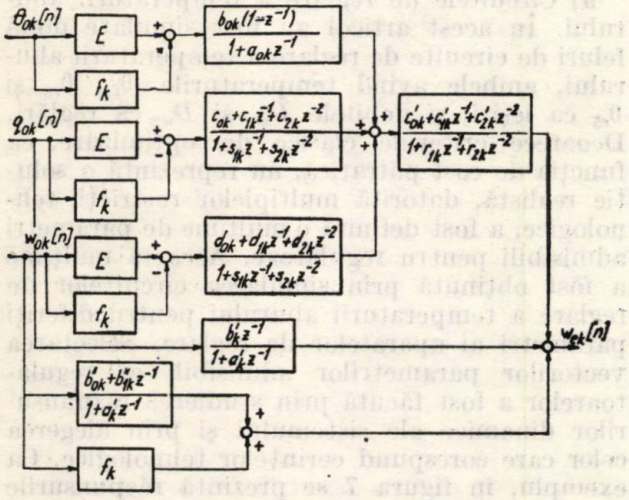


Fig. 4

Modelul circuitului de abur a fost obținut prin cuplarea ecuațiilor supraîncălzitoarelor și ale camerelor de injecție în modul următor :

— au fost adăugate ecuațiile de continuitate ale debitelor la intrare și ieșire ale supraîncălzitoarelor și ale camerelor de injecție ;

— au fost incluse ecuațiile căderilor de presiune, acestea făcînd ca θ_i, p_i, p_T și x_m să fie mărimi de intrare (fig. 1).

Răspunsurile de temperatură a sistemului pentru o variație în treaptă a debitului de apă la prima cameră de injecție sînt date în figura 5.

1.2. *Modelarea și simularea economizorului și vaporizatorului*

Problema cea mai dificilă este modelarea vaporizatorului în stare supracritică. Modelele cu parametri distribuiți se obțin relativ ușor prin relația :

$$\frac{\partial \underline{v}(x,t)}{\partial t} = L_\Omega \{\underline{v}(x,t)\} + \underline{m}\, q(t), \qquad (14)$$

în care

$\underline{v}(x,t)$ este vectorul de stare al sistemului ;
$L_\Omega \{.\}$ — operatorul diferențial matricial în domeniul de spațiu Ω ;
$\underline{m}$ — vector constant ;
$q(t)$ — căldura primită de metal de la circuitul de gaze arse.

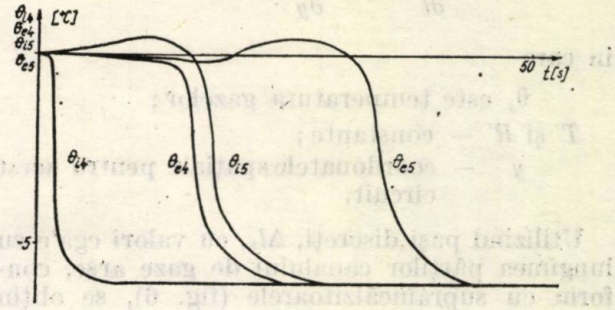


Fig. 5

Ecuația de stare (14) este completată cu ecuațiile de condiții limită și inițiale.

Condițiile limită impuse pentru intrarea în vaporizator sînt cele uzuale, cum ar fi : temperatura de intrare $\theta_0(t)$ și presiunea de intrare $p_0(t)$, sau temeratura $\theta_0(t)$ și o relație între $p_0(t)$ și debitul la intrare.

Condițiile limită pentru domeniul de vaporizare la ieșire sînt :

$$\theta[L(t),t] = \alpha_p\,[L(t), t], \qquad (15)$$

unde α este constantă, iar $L(t)$ — lungimea intervalului de vaporizare.

Deoarece $L(t)$ este o variabilă de ieșire necunoscută, relațiile (15) complică simularea numerică a vaporizatorului. Pentru o frontieră a vaporizării variabilă, tratată ca necunoscută a sistemului, metodele numerice uzuale sînt în mod obișnuit neaplicabile. În consecință, se adoptă următorul model cu parametri concentrați al vaporizatorului :

$$\dot{\underline{x}} = A\underline{x} + B\underline{u}, \qquad (16)$$

în care componentele vectorului de stare de ordinul cinci sînt : temperatura agentului de transfer de căldură în intervalul de vaporizare, lungimea intervalului de vaporizare, temperatura metalului în intervalele de vaporizare și de supraîncălzire, precum și temperatura aburului în domeniul de supraîncălzire.

Economizorul a fost reprezentat printr-un model cu parametri concentrați (16).

1.3. *Modelarea și simularea numerică a circuitelor de aer, gaze de ardere și de alimentare cu combustibil*

Modelul matematic al focarului, canalelor de aer și echipamentului de alimentare cu combustibil a fost adoptat în forma relației (16).

Pentru modelarea matematică a circuitului de gaze de ardere, se pornește de la ecuația de bilanț termic a gazelor de ardere, care a fost dedusă din modelul procesului de transfer

de căldură gaz — metal — abur :

$$T' \frac{\partial \theta_g}{\partial t} + R' \frac{\partial \theta_g}{\partial y} + \theta_g = 0, \qquad (17)$$

în care

θ_g este temperatura gazelor ;
T' şi R' — constante ;
y — coordonatele spaţiale pentru acest circuit.

Utilizînd paşi discreţi, Δl_k, cu valori egale cu lungimea părţilor canalului de gaze arse, conform cu supraîncălzitoarele (fig. 6), se obţin

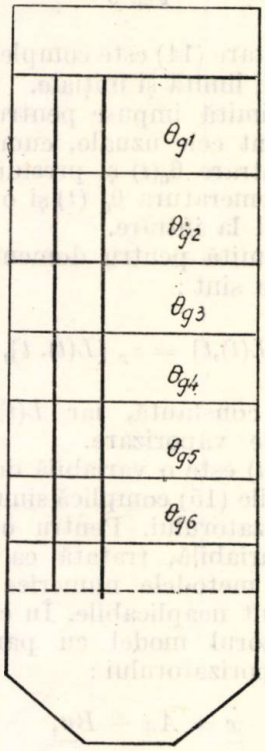


Fig. 6

relaţiile :

$$T'_k \frac{\mathrm{d}\theta_g k}{\mathrm{d}t} + \left(\frac{R'_k}{\Delta l_k} + 1 \right) \theta_g k = \frac{R'_k}{\Delta l_k} \theta_g k + 1 ;$$

$$k = 1, 2, \ldots, 5 \qquad (18)$$

$$T'_6 \frac{d\theta_{g6}}{\mathrm{d}t} + \left(\frac{R'_6}{\Delta l_6} + 1 \right) \theta_{g6} = \frac{R'_6}{\Delta l_6} \theta_f \qquad (19)$$

în care θ_f este temperatura în focar. Modelul global al sistemului aer — gaze are forma (16), în care dimensiunea vectorului de stare este 12. Mărimile de intrare cele mai importante sînt : debitul de combustibil, puterea sa calorifică, debitele de aer şi gaze recirculate. Vectorul de ieşire conţine cantităţile de căldură primite de metal de la economizor, vaporizator şi supraîncălzitoare. Acestea dau posibilitatea de a cupla modelul circuitului de aer — gaze cu celelate subsisteme.

2. Simularea numerică şi reglarea parametrilor aparatelor de reglare a subsistemelor

Circuitele de reglare uzuale ale cazanului pot fi grupate în două categorii :

— circuite de reglare a subsistemelor cazanului ;

— circuite de reglare a sistemului cazanului în ansamblu.

În prima categorie de circuite de reglare se cuprind :

a) Circuitele de reglare a temperaturii aburului. În acest articol au fost simulate două feluri de circuite de reglare a temperaturii aburului, ambele avînd temperaturile θ_{i4}, θ_{i5} şi θ_{e5} ca ieşiri, şi debitele D_{w1} şi D_{w2} ca reglări. Deoarece criteriile clasice de optimizare, ca funcţia de cost pătratică, nu reprezintă o soluţie realistă, datorită multiplelor restricţii tehnologice, a fost definită o mulţime de parametri admisibili pentru regulatoae. Această mulţime a fost obţinută prin simularea circuitelor de reglare a temperaturii aburului pentru diferiţi parametri ai aparatelor de reglare. Selectarea vectorilor parametrilor admisibili ai regulatoarelor a fost făcută prin studierea răspunsurilor dinamice ale sistemului şi prin alegerea celor care corespund cerinţelor tehnologice. Ca exemplu, în figura 7 se prezintă răspunsurile

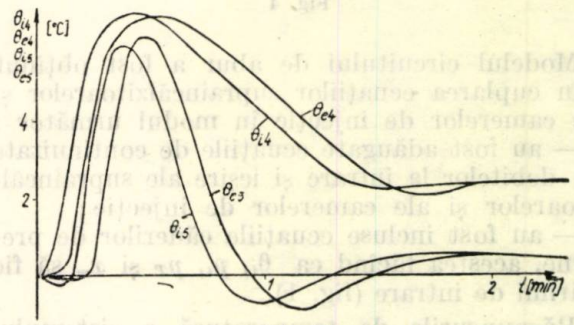


Fig. 7

a patru ieşiri la semnalul treaptă al circuitului de reglare a temperaturii de intrare θ_{e4}.

b) Reglarea alimentării cu combustibil.

c) Reglarea presiunii aerului.

d) Reglarea presiunii în focar.

e) Reglarea debitului de apă de alimentare.

Parametrii regulatoarelor au fost stabiliţi la valorile obţinute în urma ajustării prin simularea numerică a circuitelor de reglare.

2. Optimizarea cazanelor centralelor termoelectrice folosind criteriul de performanţă economică

Regulatoarele care aparţin de circuitele de reglare a debitului de combustibil au ca obiect de reglare ansamblul cazanului. Reacţia inversă

de la obiectul reglării la aceste regulatoare este multivariabilă, dînd informaţii asupra distribuţiei temperaturilor în circuitul de abur supraîncălzit, precum şi informaţii asupra puterii efective a centralei termoelectrice. Deşi în modelul sistemului nu a fost inclus modelul turbinei şi al generatorului, în loc de semnal al puterii a fost considerat un semnal proporţional cu variaţia presiunii aburului la ieşirea cazanului.

În metoda de optimizare a fost adoptată o funcţie criteriu de performanţă care exprimă randamentul cazanului, după cum urmează :

$$F = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \eta(t)\, dt, \qquad (20)$$

unde

$$\eta = \{(k_1 + M_{e5})\,[k_2 + (k_3\,\theta_{e5} - k_4\,p_{e5}) + k_5\theta_{aa}|\}/$$
$$/[(k_6 + B)\,(k_7 + P_{ci})], \qquad (21)$$

în care

M_{e5}, θ_{e5}, p_{e5} reprezintă debitul, temperatura şi presiunea la ieşirea din cazan ;

θ_{aa} — temperatura apei de alimentare ;

B şi P_{ci} — debitul şi puterea calorifică a combustibilului ;

$k_1, k_2, \ldots, k_7$ — constante.

În vederea rezolvării problemei de optimizare, au fost necesare următoarele :

1. Stabilirea perturbaţiilor exterioare aplicate sistemului pentru care va fi efectuată optimizarea. Principalele semnale perturbatoare sînt : sarcina blocului energetic şi variaţiile puterii calorifice a combustibilului.

2. Determinarea parametrilor care urmează să fie fixaţi prin metoda optimizării. Se consideră în primul rînd următorii parametri : parametrii de reglare ai ansamblului cazanului şi parametrii circuitelor de reglare a temperaturii aburului supraîncălzit, la care s-a stabilit un domeniu admisibil pe baza criteriilor tehnologice. În acest mod, eliminînd parametrii de reglare ai circuitelor locale, stabiliţi prin reglările iniţiale, urmează ca optimizarea să se facă prin reglarea a 17 parametri. Acest număr foarte mare de parametri duce la un timp mare de calcul pentru modelul cazanului. Din această cauză s-a făcut o selecţie severă a parametrilor de reglat prin metoda optimizării. Ţinînd seama că, la variaţii mici de sarcină, utilizate în cadrul acestui articol, regulatorul debitului de apă dă variaţii foarte mici ale semnalului de intrare pentru apa de alimentare, aceşti parametri de reglare au fost consideraţi ca valori fixe în procesul de optimizare. Au fost reţinuţi, în vederea determinării, patru parametri ai circuitului de reglare a temperaturii aburului şi ai regulatorului care dă semnalul de intrare pentru debitul de combustibil.

În cadrul acestui articol a fost utilizată metoda monovariabilă de optimizare pentru criteriul de performanţă (20). Rezultatele obţinute, cu un mare efort de calcul, au arătat că acest efort este în întregime justificat prin creşterea performanţelor tehnice şi economice ale cazanului.

Bibliografie

[1] Anghel, F., Bivol, I., Ceangă, E. şi Cserveny, I. *Cercetări privind optimizarea parametrică a sistemelor multivariabile.* În : Probleme de automatizare, IX, Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1975.

[2] McDonald, J. P. şi Kwatny, H. G. *Design and analysis of boiler-turbine-generator control using optimal linear regulator theory.* În : IEEE Trans. Automat. Contr., AC-18, iunie 1973, p. 202—209.

Unele aspecte ale creşterii eficienţei şi siguranţei funcţionării motoarelor sincrone în siderurgie

Ing. **Gh. Bărbulescu**[*)]

1. Consideraţii generale

În uzinele siderurgice, motoarele sincrone au o largă utilizare, astfel încît într-un combinat cu o producţie de 10 mil. t oţel/an acestea totalizează o putere instalată de circa 300 MW.

Ele sînt prezente în toate sectoarele tehnologice : depozize 1%, aglomerare 14%, furnale 1%, uzina cocso-chimică 4%, oţelării cu convertizor şi electrice 4%, laminoare 50%, fabrica de oxigen 23%, centrala de aer comprimat 4%, pentru acţionarea mecanismelor tehnologice, avînd puteri unitare pînă la 17 MW.

În acelaşi timp ele joacă un rol important în îmbunătăţirea condiţiilor de funcţionare a nodului energetic respectiv. Printre principalele avantaje ale motoarelor sincrone, în care rezidă larga lor utilizare, amintim :

— posibilitatea folosirii lor pentru îmbunătăţirea factorului de putere în nodul respectiv, contribuind astfel la micşorarea pierderilor de transport şi deci la o utilizare mai bună a reţelei şi surselor de energie ;

— faţă de motoarele asincrone, la care subîncărcarea activă conduce la o înrăutăţire a fac-

*) Gh. Bărbulescu este inginer proiectant I la IPROMET.

torului de putere în rețea, la motoarele sincrone puterea reactivă debitată poate fi mărită în cazul subîncărcării active;

— posibilitatea folosirii lor pentru compensarea variațiilor de tensiune produse de șocurile de putere reactivă date de alți consumatori;

— păstrarea unui cuplu motor mai bun la variații de tensiune, deoarece la motorul sincron acesta variază numai cu puterea întîi a tensiunii, față de puterea a doua la cel asincron;

— turație constantă, independentă de tensiune și sarcină;

— pierderi totale mai mici decît la motorul asincron, deci randament mai bun;

— motoarele sincrone echipate cu regulatoare automate, sau chiar numai cu forțarea excitației, contribuie în mod substanțial la stabilitatea nodului în care funcționează.

Tehnica modernă, în special în domeniul automatizării și protecției, a crescut avantajele diminuînd unele din dezavantajele cunoscute:

— necesitatea folosirii unor scheme de pornire și sincronizare speciale;

— unele reținere în utilizarea lor pentru tehnologii sensibile la golurile de tensiune adînci și de durată.

Astfel, de exemplu, datorită sistemelor puternice și aparatajului modern, schemele de pornire și sincronizare au fost substanțial simplificate.

De asemenea, cercetările și studiile întreprinse cu privire la comportarea la goluri de tensiune, ținînd seama și de perfecționarea echipamentelor de protectie și automatizare, au condus la măsuri în sistemul de alimentare și la consumatori care să crească gradul de siguranță în funcționare la goluri de tensiune.

În același timp mai trebuie avut în vedere, ca un lucru esențial, conjunctura de contractare a utilajelor tehnologice complexe (laminoare, fabrici de oxigen, centrale de aer comprimat etc.), la care furnizorul livrează acționarea cu motoare sincrone, realitate de la care trebuie să pornească proiectantul în analiza soluțiilor de compensare a puterii reactive în combinatul respectiv.

În cele ce urmează se prezintă cîteva din multiplele aspecte care au constituit preocupări cu ocazia proiectării unui combinat siderurgic, în scopul creșterii eficienței folosirii lor, precum și al măririi gradului de fiabilitate a instalațiilor tehnologice și electroenergetice în care funcționează motoarele sincrone.

2. Compensarea puterii reactive

Determinarea balanței de putere reactivă pe tot combinatul este necesară pentru definirea mijloacelor de compensare, în scopul aducerii factorului de putere la valoarea optimă sau cel puțin la valoarea neutrală cerută de furnizorul de energie electrică pentru a nu se plăti energia reactivă —0,92 în cazul în care racordul combinatului se face la 110 kV [1], [2], precum și la realizarea nivelului de tensiune necesar în nodul sistemului energetic care alimentează combinatul, nod aflat la mare distanță de sursele sistemului,

Deoarece, în această balanță, producția de energie reactivă a motoarelor sincrone și a centralelor electrice uzinale ocupă un loc important, s-a dat o deosebită atenție folosirii eficiente a acestor surse existente.

S-a avut în vedere că motoarele sincrone din combinat, avînd o încărcare activă de 0,7—0,8 din puterea activă nominală, pot debita putere reactivă mai multă decît cea corespunzătoare factorului de putere nominal (uzual între 1 și 0,8 capacitiv), această capacitate fiind funcție de datele constructive, valoarea curentului de excitație, tensiunea la borne, puterea activă absorbită.

Pentru determinarea capacității maxime de compensare, la proiectare, s-au folosit datele de catalog sau curbele livrate de furnizorul motoarelor sincrone.

În tabelul 1 se arată valorile factorului de putere în avans și a puterii aparente corespunzătoare admise, în condițiile nedepășirii curentului rotoric, pentru motoarele sincrone cu $P_n = 10$ MW, cos $\varphi_n = 0{,}9$ capacitiv, 3000 rot/min, raportul de scurtcircuit $K_{sc} = 0{,}575$, folosite la fabrica de oxigen.

Tabelul 1

Cos φ	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Puterea aparentă S, %	100	88	80	75	72	70	68	67	66

În figura 1 se dau curbele în V la diverse încărcări active pentru motorul de 5 MW, cos $\varphi_n = 1$ care acționează exhaustorul de la fabrica de aglomerare, iar în figura 2 capacitatea de încărcare cu putere reactivă a motoarelor de 2,1 MW cos $\varphi = 0{,}9$ folosite pentru acționarea compresoarelor din centrala de aer comprimat.

Pentru cazurile în care nu s-a dispus de date de catalog, capacitatea maximă de compensare procentuală ($q_{max}\%$) pentru coeficienți de încărcare de la 1 pînă la 0,5 s-a calculat cu relația [3]:

$$q_{max}\% = \left[\sin\varphi_n + (1-k)\left(\frac{\sin\varphi_n}{48\sin\varphi_n - 0{,}32} + 0{,}4\right)\right]\cdot 100,$$

unde

$$q_{max} = \frac{Q_{max}}{S_n}\cdot 100;$$

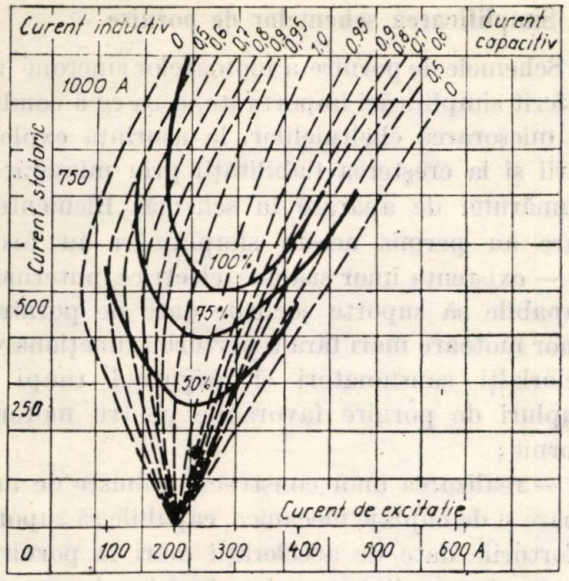


Fig. 1. Curbele în V pentru motorul de 5 MW.

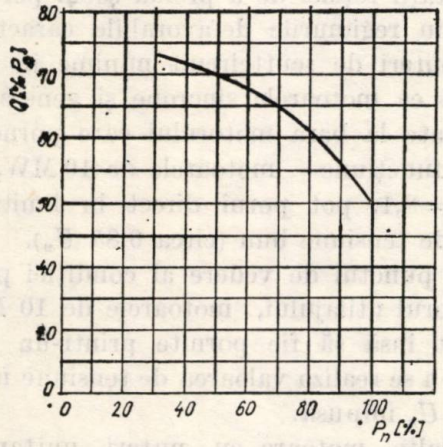


Fig. 2. Capacitatea de compensare a motorului de 2,1 MW.

Q_{max} este puterea reactivă maximă ce poate fi debitată de motorul sincron (kvar);

S_n — puterea aparentă nominală a motorului sincron (kVA);

$\sin \varphi_n$ — valoarea sin φ pentru cos φ nominal;

$K = \frac{P_c}{P_n}$ — coeficient de încărcare;

P_c — puterea activă cerută (kW);

P_n — puterea nominală a motorului (kW).

În sectoarele tehnologice fără șocuri ale unui combinat siderurgic de 10 mil. t oțel/an, puterea reactivă maximă ce poate fi debitată de motoarele sincrone la excitație constantă, ținînd seamă de coeficientul de încărcare, indicat de furnizorul fiecărui utilaj, ajunge la valoarea de circa 86 Mvar, reprezentînd o creștere cu circa 11 Mvar față de puterea reactivă nominală.

Deoarece creșterea puterii reactive debitate de motor este legată de pierderi suplimentare, acestea, la rîndul lor, fiind funcție de puterea nominală, de turație și de cos φ, se pune problema factorului de putere optim la care trebuie să funcționeze motoarele sincrone pentru ca regimul de funcționare să fie eficient.

O astfel de analiză a apărut necesară încă de la proiectare nu numai pentru balanța generală de putere reactivă, dar și pentru dimensionarea corectă a căilor de alimentare a motoarelor sau a unor stații de distribuție ce alimentează motoare sincrone.

Luîndu-se în considerare prezența unor puternice generatoare de armonici, fie cu conținut cunoscut — laminoarele acționate cu motoare alimentate cu tiristoare — fie cu conținut de armonici aleatoriu — cuptoare electrice cu arc cu puteri unitare de 60 MVA —, rezultă că într-un asemenea combinat, ținînd seama de experiența altor uzine similare, în cazul instalării bateriilor de condensatoare pot apărea supratensiuni de rezonanță, chiar în puncte electrice nelegate direct la sursa de armonici.

Pentru a preveni avariile, în aceste cazuri bateriile de condensatoare se echipează fie cu bobine acordate pentru realizarea unor filtre de absorbție, fie cu bobine de refulare, prevăzîndu-se în același timp supradimensionarea lor, ceea ce conduce la creșterea investițiilor în instalațiile de compensare statice la circa de 3 ori față de instalațiile statice obișnuite.

În același timp cresc cheltuielile anuale și datorită creșterii pierderilor în bobinele respective.

În aceste condiții a rezultat luarea în considerare a capacității maxime de compensare a motoarelor sincrone instalate în combinat.

Aceleași considerente s-au avut în vedere și la debitarea puterii reactive maxime a centralelor de recuperare și detentă din combinat în perioadele cînd lucrează descărcat de puterea activă.

Pe lîngă acest criteriu economic direct, s-a avut în vedere consecința economică favorabilă rezultată din creșterea stabilității nodului respectiv, deoarece în cazul condensatoarelor puterea reactivă scade cu pătratul tensiunii, în timp ce motoarele sincrone pînă la 630 kVA fiind prevăzute cu forțarea excitației, iar peste această putere cu RAE, puterea reactivă va crește la scăderea tensiunii în rețea. Pe de altă parte, la scăderea tensiunii, o parte din motoarele

sincrone — cele cu raport de scurtcircuit supraunitar — își măresc debitul de putere reactivă pe caracteristica naturală, chiar în absența RAE.

În figura 3 se arată variația raportului Q/Q_n în funcție de U/U_n la $i_e/i_n = 1$, iar în figura 4 pentru $i_e/i_n = 1{,}5$ [4].

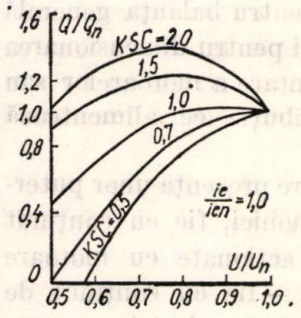


Fig. 3. Variația raportului Q/Q_n în funcție de U/U_n la $i_e/i_n = 1$.

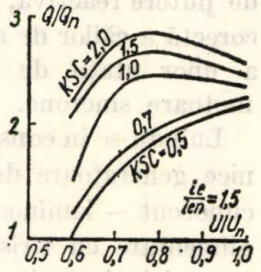


Fig. 4. Variația raportului Q/Q_n în funcție de U/U_n la $i_e/i_n = 1{,}5$.

3. Compensarea șocurilor de putere reactivă

Pe lîngă utilizarea pentru îmbunătățirea factorului de putere în nodurile cu consumatori liniștiți, motoarele sincrone echipate cu regulatoare electronice, avînd viteze mari de răspuns, sînt pe larg folosite pentru compensarea șocurilor de putere reactivă date de unii consumatori ca : laminoare acționate cu redresor, cuptoare cu arc, pornirea unor motoare mari etc.

Prin aceasta se asigură nivelul de tensiune în limitele admise de furnizorul de energie electrică și de funcționarea corectă a celorlalți consumatori din uzină, simultan cu îmbunătățirea factorului de putere.

Una dintre aplicațiile unei asemenea soluții se găsește la un laminor de semifabricate, unde — pentru îmbunătățirea factorului de putere și compensarea șocului de putere reactivă de 7 Mvar produsă de tiristoarele care alimentează motoarele cajelor finisoare, foarfeci, etc. — s-a folosit capacitatea de compensare totală a celor două motoare sincrone de 9,8 MW, cos $\varphi_n = 0{,}85$ ale grupurilor $M-G$ ce alimentează motoarele de c.c. care acționează trenul degrosisor de la același laminor.

În acest scop, excitația automată a motoarelor sincrone se face în funcție de curentul reactiv însumat de la toți consumatorii nodului respectiv, folosindu-se rezerva totală de putere reactivă a motoarelor sincrone.

4. Simplificarea schemelor de pornire

Schemele de pornire a motoarelor sincrone au suferit simplificări importante, ceea ce a condus la micșorarea cheltuielilor, la ușurința exploatării și la creșterea fiabilității prin micșorarea numărului de aparate în schemă. Elementele care au permis aceste simplificări au fost :

— existența unor sisteme electrice puternice, capabile să suporte șocurile date de pornirea unor motoare mari fără a perturba funcționarea celorlalți consumatori și asigurînd timpi și cupluri de pornire favorabile pentru motorul pornit ;

— realizarea unor construcții robuste de motoare și de cuplaje mecanice, capabile să suporte eforturile date de accelerații mari la pornirea cu tensiunea plină a rețelei. Astfel, sub aspectul capacității rețelei de a prelua șocul pornirii — chiar în regimurile defavorabile caracterizate prin puteri de scurtcircuit minime în sistem, și fără ca motoarele sincrone și generatoarele racordate la bara motorului care pornește să fie în funcțiune — motoarele de 10 MW, avînd $I_p/I_n = 8{,}1$, pot porni direct în limita unui nivel de tensiune bun (circa 0,85 U_n).

Din punctul de vedere al condiției puse de furnizorul utilajului, motoarele de 10 MW au trebuit însă să fie pornite printr-un reactor pentru a se realiza valoarea de tensiune maximă de 0,5 U_n impusă.

Celelalte motoare, cu puteri unitare sub 6,3 MW, au fost pornite prin racordarea directă la tensiunea plină a rețelei.

Însăși schema de pornire prin reactoare a suferit la rîndul ei, în continuare, simplificări, corelîndu-se cu schema și modul de execuție a stației de distribuție din care se alimentează motoarele, adoptîndu-se pentru stații cu puteri de scurtcircuit mari ordinea în schemă : bară, reactor, întreruptor.

În figura 5 sînt indicate evoluțiile succesive ale schemelor folosite pentru pornirea cu reactoare.

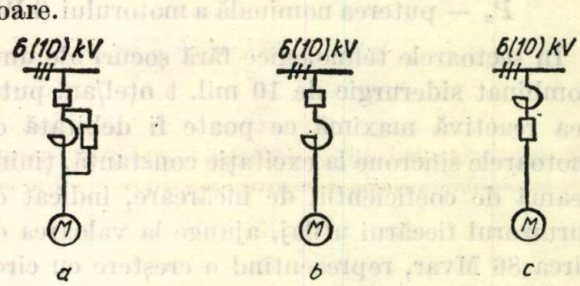


Fig. 5. Evoluțiile schemelor pentru pornirea cu reactor.

Considerînd motoarele din figura 5 *a*, *b*, *c*, de 10 MW, cosφ 0,9, racordate la o bară cu puterea de scurtcircuit mare, 750 — 1000 MVA, se observă că, în cazul din figura 5 *a*, pe plecările la motoare trebuie prevăzute întreruptoare automate cu putere mare de scurtcircuit — 750—1000 MVA —, deoarece reactorul se şuntează după pornire; în cazul figurii 5, *b* şi 5 *c*, reactorul, păstrîndu-se în circuit întreruptorul automat, este ales la puterea de scurtcircuit redusă prin reactanţa reactorului, adică din seria 300 MVA.

Păstrarea permanentă a reactorului în circuit este legată de un consum de energie reactivă şi activă, dar economiile realizate la construcţia staţiei şi la echipamente depăşesc cu mult cheltuielile.

În acelaşi timp creşte fiabilitatea instalaţiei prin eliminarea înserierii a două întreruptoare automate în funcţionare permanentă.

O atenţie deosebită s-a dat dimensionării reactorului pentru motorul de 10 MW, ţinîndu-se seama de:

— nivelele de tensiune maxime şi minime admise de furnizor la pornire;

— curentul statoric al motorului în condiţiile reale de sarcină activă şi debit de putere reactivă;

— stabilitatea termică, ţinînd seama de curentul şi timpul de pornire şi luînd în considerare păstrarea lui în circuit după pornire.

O altă simplificare importantă, realizată pe baza discuţiei cu furnizorul în cazul motoarelor mici cu excitaţie clasică, care antrenează mecanisme cu cuplu rezistent mic la pornire (0,4 $M_{rez.n}$), a fost pornirea cu excitatoarea cuplată direct în circuitul rotoric (situaţia unor pompe sub 1 MW).

5. Măsuri pentru creşterea gradului de siguranţă în funcţionarea motoarelor sincrone

Sensibilitatea deosebită la goluri de tensiune a unor fluxuri tehnologice acţionate cu motoare sincrone necesită o atenţie deosebită în ce priveşte instalaţiile de protecţie şi automatizare.

Studii şi cercetări importante, care s-au concretizat cu concluzii deosebit de utile, au fost efectuate pe instalaţii existente în institutele de specialitate din R.S.R. [5], [6]. Acestea au fost avute în vedere la proiectarea noilor instalaţii, atît în reţeaua uzinală cît şi în sistemul extern de alimentare.

Conform [7], reţelele de medie tensiune (6—10 kV) ale consumatorilor care au motoare sincrone trebuie să fie echipate cu protecţii speciale care să sesizeze rapid pierderea alimentării şi care să deconecteze aceste motoare.

Ţinînd seama de particularităţile schemei şi procesului tehnologic, se pot folosi următoarele soluţii:

— relee de frecvenţă minimă, care să controleze frecvenţa tensiunii remanente generate de motoarele sincrone;

— relee direcţionale de putere activă, instalate la motoarele mari cu cuplu rezistent, care variază cu pătratul turaţiei;

— utilizarea unor protecţii combinate frecvenţă minimă — putere direcţională;

— relee care să controleze derivata frecvenţei.

Pe lîngă aceste protecţii speciale, motoarele sincrone sînt echipate cu protecţie uzuală de tensiune minimă, în două trepte, pentru a comanda declanşarea întreruptorului automat şi dezexcitarea rapidă.

Corelat cu duratele RAR şi AAR, treapta I acţionează netemporizat la scăderea tensiunii sub 0,4 U_n, asigurîndu-se astfel deconectarea rapidă a motorului la dispariţia tensiunii, iar treapta a II-a comandă declanşarea la scăderea tensiunii sub 0,7 U_n cu o temporizare care se stabileşte în exploatare în condiţii de selectivitate, asigurîndu-se astfel continuitatea funcţionării la scăderi pînă la 0,7 U_n. Echiparea motoarelor sincrone cu regulatoare automate ale excitaţiei de tip electronic cu viteze mari de răspuns a condus la creşterea considerabilă a stabilităţii şi deci a continuităţii în funcţionare a consumatorilor dintr-un combinat siderurgic.

Motoarele sincrone peste 630 kW folosite în noile instalaţii din uzinele metalurgice sînt echipate cu regulatoare electronice, care pot regla automat, după următorii parametri sau combinaţii ale acestora: tensiunea statorică, curentul aparent statoric, curentul reactiv statoric, curentul activ statoric, curentul reactiv al sarcinii din nod, unghiul intern.

O altă cale de creştere a gradului de siguranţă în funcţionarea motoarelor sincrone în cazul golurilor de tensiune este autopornirea. Premi-

sele care au creat posibilitatea folosirii unor scheme de autopornire au fost :

— caracteristicile motorului și instalației de automatizare care, potrivit indicațiilor furnizorului, permit autopornirile după stingerea cîmpului, cu o nouă sincronizare, durata autopornirii nedepășind durata pornirii de la cald, și maximum odată pe zi ;

— valoarea mare a puterii de scurtcircuit pe barele stațiilor care alimentează motoarele, care asigură nivele de tensiune bune la pornire ;

— schemele simplificate de pornire.

Pentru creșterea gradului de siguranță în funcționare a motoarelor sincrone din combinat, în sistemul extern de alimentare s-au luat următoarele măsuri :

— stabilirea corectă a reglajelor pentru automatizările RAR, AAR, DAS în stațiile de transformare ce alimentează motoare sincrone mari ;

— realizarea RAR monofazate pe LEA care alimentează stațiile combinatului cu motoare sincrone ;

— funcționările în paralel ale LEA care alimentează stațiile cu motoare sincrone.

— realizarea unor protecții sigure și rapide.

În concluzie rezultă că într-un mare combinat siderurgic, construit la capacitatea 10 mil. t oțel/an, utilizarea motoarelor sincrone s-a dovedit avantajoasă, realizînd, pe lîngă îmbunătățirea factorului de putere, și creșterea stabilității nodului electric respectiv.

Bibliografie

[1] * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari.* PE 931/1975.

[2] * * * M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele de distribuție exploatate de IRE.* PE 120/1975.

[3] Kazak, N. A., Kniazevski, B. A., Lazarev, S. S. și Livșiț, D. S. *Elektrosnabjenie promîșlennîh predpriatii.* Izd. Energhiia, Moscova — Leningrad, 1966.

[4] Petelin, D. P. *Avtomaticeskoe regulirovanie vozbujdeniia sinchronnîh dvigatelei.* Moscova — Leningrad, 1961.

[5] * * * M.E.E. — ICEMENERG. *Îndrumar privind măsuri de reducere a întreruperilor în alimentare datorită golurilor de tensiune.* București, 1973.

[6] * * * ISPE-București. *Stabilirea reglajelor pentru instalațiile de automatizare (AAR, RAR, DAS etc.) în stațiile electrice care alimentează consumatori avînd motoare sincrone mari.* București, 1976.

[7] * * * M.E.E. — C.I.E.E.T. Circulara 57013/1977 cu privire *la măsurile ce trebuie luate de consumatori în scopul creșterii continuității în funcționare a motoarelor sincrone.*

Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România. Redacția: București, Bd. Energeticienilor 8, Sectorul 4. Telefon: 21 46 30. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 BN R.S.R. — Sectorul 4. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar: 5 lei. Taxele poștale achitate anticipat, conform aprobării D.G.P.Tc. nr. 137/125/1975

I.P.I. c. 783

41 401

Doriţi să fiţi informaţi în domeniul energeticii?

Abonaţi-vă la revista „ENERGETICA"!

CERERE DE ABONAMENT PERSONAL LA REVISTA „ENERGETICA"

Subsemnatul ..... din. întrepr .....
solicit un abonament pe anul 1979 la revista „Energetica", care va fi expediat pe numele subsemnatului, la adresa: localitatea ..... str .....
nr. ..... bl..... sc .... et ....ap. .... sect..... cod ..... judeţ .....

C/v abonamentului (30 lei) am achitat-o în contul 30.11.8.01.01. BN RSR, fil. sect. 4, Bucureşti, ICEMENERG, prin m.p.nr. ..... din .....sau la casieria ICEMENERG cu chit. nr.....din .....

Orice schimbare a adresei de mai sus o voi comunica în timp util.

Data..... Semnătura .....

CERERE DE ABONAMENT PENTRU INTREPRINDERE LA REVISTA „ENERGETICA"

Intrepr. ..... din .....
str ..... nr ..... sect..... cod..... jud .....
solicită un abonament pe anul 1979 la revista „Energetica".

C/v abonamentului (100 lei) s-a achitat cu m.p.nr. ..... din .....
către ICEMENERG cont. 30.11.8.01.01. BN RSR, fil. sect. 4, Bucureşti

DIRECTOR, ... CONTABIL ŞEF, ... Data .....

Comandaţi lucrările elaborate de Oficiul de informare documentară pentru energetică!

Oficiul de informare documentară pentru energetică (OIDE) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice, care realizează informarea şi documentarea tehnică în ramura energiei electrice şi termice, cuprinzînd activităţile de cercetare, proiectare, producţie şi învăţămînt. În cadrul acestei activităţi, OIDE editează următoarele lucrări neperiodice :

1. **„Energetica-supliment de îndrumare unitară în ramura energiei electrice şi termice"**, cu caracter tehnico-economic, care cuprinde : articole originale şi traduceri pe probleme de organizare şi conducere a producţiei, perfecţionare profesională, acte normative şi prescripţii, informări şi precizări de natură financiar-economică, juridică, de protecţie a muncii, articole de generalizare a experienţei înaintate, materiale din domeniul energeticii industriale etc.

2. **„Energetica peste hotare"** — seria **„Informaţii tehnico-ştiinţifice"**, care cuprinde informaţii selective pe probleme de producere, transport şi exploatare a energiei electrice şi termice, punere în funcţiune, consum de combustibili, statistici etc., din publicaţiile tehnice străine.

3. **„Energetica peste hotare"** — seria **„Sumar energetic"**, care cuprinde traducerea titlurilor din revistele străine cu profil energetic, sub formă de fişe cu adnotări bibliografice.

Aceste lucrări au regim de carte şi pot fi comandate în funcţie de necesităţile de informare ale unităţii dv.
Valoarea lucrărilor se achită anticipat în contul ICEMENERG.
Lucrările se expediază pe măsura apariţiei lor la adresa menţionată de beneficiar.
Preţul acestor lucrări este stabilit conform. ord. Ministerului Energiei Electrice 816/970.

FORMULAR DE COMANDĂ — 1979 Nr...../.....

la publicaţiile neperiodice elaborate de ICEMENERG-Oficiul de informare documentară pentru energetică pe anul 1979

Unitatea ..... din str. .....
nr. ..... oraş ..... cod ..... judeţ .....

vă rugăm să ne livraţi lucrările notate în tabelul de mai jos :

Nr. cod.	Titlul lucrării	Apariţie în set de volume	Preţ pe set (lei)	Număr de seturi comandate	Total lei de plată
06.1	Energetica-supliment de îndrumare unitară în ramura energiei electrice şi termice	Set de 5 volume	300		
06.2	Energetica peste hotare-seria Informaţii tehnico-ştiinţifice	Set de 5 volume	300		
06.3	Energetica peste hotare-seria Sumar energetic	Set de 7volume	420		
			Total lei de achitat anticipat către ICEMENERG		

Suma respectivă a fost achitată anticipat cu dispoziţia de plată (m.p.) nr .....din ..... către ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 4, cont virament 30.11.8.01.01, BN. RSR, fil. sect. 4, Bucureşti, cod 74568

DIRECTOR

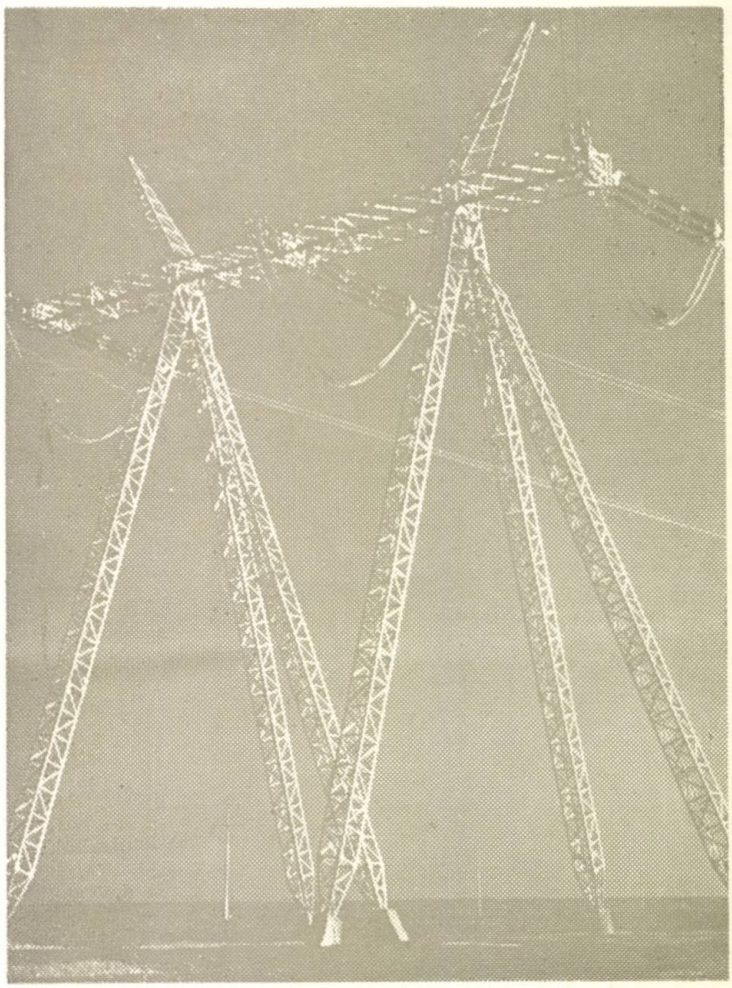
CONTABIL-ŞEF

TRUSTUL ELECTROMONTAJ
BUCUREȘTI
Calea Moşilor 158
Telefon 16 63 30

EXECUTĂ PRIN GRUPURILE SALE DE ȘANTIERE
cu sediile în :

- BUCUREȘTI
- BACĂU
- CÎMPINA
- CLUJ
- SIBIU
- TIMIȘOARA

- Lucrări de linii electrice aeriene 110-400 kV
- Lucrări de linii electrice subterane pînă la 400 kV
- Lucrări de traversări subfluviale în cablu pînă la 110 kV
- Staţii electrice de transformare de la 6 la 400 kV



Gama lucrărilor de mai sus se execută în străinătate prin intermediul Intreprinderii de comerţ exterior ROMENERGO

1978 MAY 3 1